

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ ИММАНУИЛА КАНТА»

На правах рукописи

ДОРОХОВ ДМИТРИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

**ЛАНДШАФТНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ
СУБАКВАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ
БАЛТИЙСКОГО МОРЯ**

Специальность 25.00.36 – Геоэкология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата географических наук

Научный руководитель

кандидат геолого-минералогических наук

Вадим Валерьевич Сивков

Калининград – 2018

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СУБАКВАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ	8
1.1. Основные понятия, определения и подходы к изучению субаквальных ландшафтов	8
1.2. Обзор существующих методов морских исследований ландшафтов	16
1.3. Классификации субаквальных ландшафтов и методы их картографирования	28
1.4. История изучения донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря	38
ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	43
2.1. Местоположение района исследования и ключевых участков	43
2.2. Материалы и методы составления среднемасштабных карт субаквальных ландшафтов	44
2.3. Экспедиционные исследования донных ландшафтов на ключевых участках	59
2.4. Методы крупномасштабного картографирования донных ландшафтов ключевых участков	74
ГЛАВА 3. СУБАКВАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ	87
3.1. Физико-географическая и геоэкологическая характеристика района исследования	87
3.2. Донные ландшафты на региональном уровне	94
3.3. Ландшафты ключевых участков	103
3.4. Рекомендации по созданию морских охраняемых природных акваторий и проведению комплексного геоэкологического мониторинга	144
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	156
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	160

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования

Увеличение темпов и масштабов использования природных ресурсов прибрежно-морской зоны в настоящее время приводит к концентрации разных видов хозяйственной деятельности в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря. Рациональное использование природных ресурсов моря предполагает изучение основных закономерностей, связанных с их возникновением, развитием и распределением. Без комплексного изучения основных физико-географических и геоэкологических процессов, протекающих на морском дне и прибрежной его части, интенсивное использование ресурсов может привести к их деградации. Ландшафтный подход позволяет оценивать состояние прибрежно-морских экосистем с учетом их пространственной структуры, определять порядок и обосновывать очередность использования прибрежно-морских ресурсов (Природно-ресурсный потенциал..., 1999). Актуальность ландшафтного районирования связана со следующими научными проблемами:

- в Российской Федерации отсутствуют стандартные подходы и методы исследования субаквальных ландшафтов;
- субаквальные ландшафты российского сектора юго-восточной части Балтийского моря изучены слабо несмотря на то, что их исследование имеет фундаментальное значение для познания законов взаимодействия абиотических и биологических компонентов морских экосистем, в процессе которого происходит круговорот вещества и энергии;
- отсутствие районирования субаквальных ландшафтов, которое должно стать основой пространственного планирования, прогнозирования и комплексного управления хозяйственной деятельностью на морских акваториях;
- в условиях возрастающей антропогенной нагрузки на морские экосистемы важнейшей проблемой является выявления зон высокого биоразнообразия, редких и уникальных субаквальных комплексов, определяемых как морские охраняемые природные акватории (МОПА).

Цель исследования – районирование субаквальных комплексов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на основе ландшафтного подхода.

Для достижения цели решались следующие **задачи**:

1. Адаптировать для российского сектора юго-восточной части Балтийского моря методы классификации и районирования субаквальных ландшафтов на основе ранее выполненных исследований.
2. Выявить наиболее распространенные, редкие и уникальные для Балтийского моря типы ландшафтов как ключевые участки для их крупномасштабной типизации.
3. Выполнить районирование донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря с использованием общедоступных среднемасштабных карт (от 1:500 000 до 1:700 000) и на основе полученных результатов разработать рекомендации для размещения МОПА и проведения регионального геоэкологического мониторинга.

Научная новизна работы:

- в ходе комплексных экспедиционных исследований впервые обнаружены и описаны новые для Балтийского моря формы донного ландшафта – плугмарки, интерпретированные как реликтовые борозды айсбергового выпаживания;

- впервые для российского сектора юго-восточной части Балтийского моря выполнено среднемасштабное ландшафтное районирование с учетом региональных особенностей на основе модифицированной стандартной европейской методики;

- впервые на трех ключевых участках были выполнены детальные геолого-геофизические исследования с использованием современного геоакустического оборудования, по результатам которых были построены детальные цифровые модели рельефа дна, крупномасштабные литологические карты и ландшафтные крупномасштабные карты с выделением мезо- и микроформ рельефа по индексу батиметрической позиции (ИБП);

- впервые для российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на основе ландшафтного подхода разработаны рекомендации по созданию морских охраняемых природных акваторий и проведению регионального комплексного экологического мониторинга.

Защищаемые положения:

1. Обнаруженные в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря новые формы ландшафта в виде многочисленных протяженных депрессий, являются реликтовыми айсберговыми плугмарками, образованными в ходе отступления Скандинавского ледника на стадиях Балтийского ледникового озера и Иольдиевого моря (13,2 – 11,7 тыс. лет назад).
2. На основе адаптированной стандартной европейской методики в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря на региональном уровне определен 21 тип донного ландшафта. Авторская региональная ландшафтная карта должна стать геоинформационной основой для обеспечения рационального морского природопользования.
3. Наиболее разнообразные и наименьшие по площади типы ландшафта в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря приурочены к трем участкам, наиболее перспективным для создания морских охраняемых природных акваторий (МОПА).
4. На основе ландшафтного районирования разработана схема регионального комплексного экологического мониторинга российского сектора юго-восточной части Балтийского моря, и примыкающих к нему Куршского и Вислинского заливов.

Практическая значимость. Результаты ландшафтного районирования могут стать основой рационального морского природопользования. Рекомендованная на основе ландшафтного районирования программа экологического мониторинга в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря позволит получить репрезентативные данные о состоянии морских экосистем и в то же время сократить расходы на его выполнение.

Материалы и методы. Работа выполнялась с использованием следующих методов: дистанционные геоакустические и контактные геологические, математические, картографические, сравнительно-географические и описательные. В работе использованы общедоступные материалы в виде среднемасштабных тематических карт района исследования, архивные геолого-геофизические данные различных организаций и уникальные данные, полученные в ходе экспедиционных

исследований АО ИО РАН. Ландшафтное картирование выполнялось на основе европейских стандартных методик, модифицированных с учетом региональных особенностей.

Достоверность результатов и выводов обеспечена использованием стандартных методов геолого-геофизических исследований и ландшафтного районирования, а так же их сопоставлением с опубликованными результатами других исследований.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в большинстве морских экспедиций, выполняемых в рамках данной работы. Автором выполнена большая часть геофизических экспедиционных работ и постобработка полученных результатов. Автором были выполнены батиметрическое, литологическое и ландшафтное картирование с использованием экспедиционных данных и общедоступных картографических материалов.

Апробация работы. Результаты работы были представлены на научных конференциях: международная конференция IGSP464 (Польша, 2003), международная конференция «USA-Baltic International Symposium. Advances in marine environmental research, monitoring & technologies» (Литва, 2004), 32-й, 33-й, 35-й Международный Геологический Конгресс (Италия, 2004; Норвегия, 2008; ЮАР, 2016), 9-я, 10-я, 11-я, 12-я, 13-я Международная морская геологическая конференция The Baltic Sea Geology (Латвия, 2006; Россия, 2010; Финляндия, 2012; Германия, 2014; Польша, 2016), международная конференция Quaternary of Western Lithuania: from the Pleistocene glaciations to evolution of the Baltic Sea (Литва, 2007), 17-я, 18-я, 20-я, 21-я, 22-я Международная научная конференция (Школа) по морской геологии (Москва, 2007, 2009, 2013, 2015, 2017), «Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов юго-восточной Балтики» (Калининград, 2008), 4-я международная конференция «Актуальные проблемы экологической геологии» (Санкт-Петербург, 2008), международная конференция GeoHab (Новая Зеландия, 2010; Финляндия, 2011), 9-я международная конференция Baltic Sea Science Congress (Литва, 2013), IV Международная научно-практическая конференция «Морские исследования и образование: MARESEDU-2015» (Москва, 2015),

Международный конгресс EGU (Австрия, 2016), Международная конференция EMECS 11 (Санкт-Петербург, 2016).

Работа проходила экспертную оценку и поддерживалась грантами РФФИ №№10-05-90736-моб_ст, 11-05-90766-моб_ст, 12-05-09342-моб_з, 12-05-90823-мол_рф_нр, 12-05-31199-мол_а, 13-05-90723-мол_рф_нр, 14-35-50136-мол_нр.

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 14 научных работ, общим объемом 11,78 п.л. (из них личный вклад – 5,12 п.л.), в том числе в двух изданиях, рекомендованных ВАК, и пяти изданиях, входящих в базу данных Scopus и Web of Science, а так же 3 раздела в трех коллективных монографиях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 174 страницы машинописного текста, 54 рисунка и 13 таблиц. Список литературы включает 154 наименования, в том числе 73 отечественных и 81 – на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю кт-мн В.В. Сивкову за поддержку и помощь в выполнении исследования, а так же коллегам из АО ИО РАН Е.В. Дороховой за гранулометрический анализ проб осадков и его интерпретацию, а так же помощь в подготовке рисунков, А.В. Креку за помощь в экспедиционных и камеральных работах, Е.В. Букановой за помощь в обработке проб осадков; дг-мн Е.В. Краснову за ценные замечания и рекомендации, которые значительно улучшили данную работу; ООО «Морское венчурное бюро», ООО «Лукойл-Калининградморнефть», ФГУНПП «СЕВМОРГЕО», ВСЕГЕИ, ГкуКо «Балтберегозащита» и Музею Мирового океана за предоставленные материалы.

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СУБАКВАЛЬНЫХ ЛАНДШАФТОВ

1.1. Основные понятия, определения и подходы к изучению субаквальных ландшафтов

Термин «ландшафт» (landschaft) был введен в XIX веке немецким ученым Александром фон Гумбольдтом. В немецком языке корень land означает «земля», а суффикс schaft выражает «взаимосвязь», «взаимозависимость». В то время термин ландшафт в первую очередь означал «визуально воспринимаемую и эстетически оцениваемую красоту окружающего». Александр фон Гумбольдт отстаивал концепцию единства природы и рассматривал ее как живой организм. С тех пор слово «ландшафт» укоренилось в различных видах человеческой деятельности. В настоящее время оно употребляется не только в науках о Земле в значении «природный комплекс», но и в архитектуре в терминах «ландшафтный дизайн/планирование», подразумевающих благоустройство территории, а так же в искусстве, обозначая эстетическую привлекательность природы – «пейзаж». По степени воздействия человека на природу ландшафты разделяются на природные (географические/естественные, сформированные под влиянием природных процессов), антропогенные (формирующиеся под влиянием деятельности человека и природных процессов), культурные (целенаправленно измененные) и техногенные (полностью преобразованные человеком). С геоэкологической точки зрения ландшафт – средообразующая и ресурспроизводящая геосистема, обладающая определенными экологическими взаимосвязями. Данная работа направлена на изучение природных ландшафтов, характеризующихся закономерным сочетанием географических компонентов.

В нашей стране огромный вклад в изучение природных ландшафтов внесли Докучаев В.В., Берг Л.С., Григорьев А.А., Мильков Ф.Н., Пономарев А.Н., Сукачев В.Н., Калесник С.В., Солнцев Н.А., Сочава В.Б., Исаченко А.Г. и многие другие. По мере развития ландшафтоведения возникали различные научные школы, каждая из которых трактовала термин «ландшафт» по-своему. Появилось огромное количество определений, каждое из которых позволяет раскрыть ту или иную

особенность природного объекта и подхода к его комплексному изучению. Поэтому возникает необходимость уточнения применяемых подходов и терминологии, которые в наибольшей степени отвечают задачам настоящего исследования.

Трактовки понятия «ландшафт» объединяют в три основные группы: общая, типологическая и индивидуальная (региональная). *Общая* трактовка (Д. Л. Арманд, Ф. Н. Мильков, В. И. Прокаев и др.) используется для обозначения взаимодействующих географических компонентов, образующих системы разных уровней. Термин «ландшафт» используется не для определения каких-либо таксономических единиц, а в общем смысле подобно понятиям «климат», «литосфера» и т.п.

При *типологическом* подходе (Л. С. Берг, Н. А. Гвоздецкий, Б. Б. Польшин и др.) ландшафт представляет собой определенный класс типов местности, который является относительно однородным физико-географическим комплексом. Согласно типологическому представлению ландшафт не является каким-либо конкретным своеобразным участком, а представляет собой «тип», как совокупность некоторых общих типических свойств. Фактором обобщения типов является сочетание особенностей биоты и абиотических компонентов. Типы ландшафтов не имеют определенного географического названия, а существуют в таком же понимании как тип рельефа в геоморфологии. При типологическом подходе не учитывается иерархия геосистем, т.е. наличие различных ступеней территориальной организации природных комплексов (фаций, урочищ и т.д.). Типизация ландшафтов является неотъемлемым условием научного исследования, но чтобы перейти к определенному понятию о типе, необходимо изучить некоторое количество конкретных существующих в природе объектов.

В *индивидуальной, региональной* или *локальной* трактовке (Л. С. Берг, А. Г. Исаченко, В. Б. Сочава и др.) ландшафт определяет конкретную территорию, имеющую географическое название и однородную по геологическим, климатическим, биологическим и др. характеристикам структуру. Они обладают закономерным набором морфологических частей – фаций, урочищ и местностей, которые многократно повторяются в пределах ландшафтных округов, областей и стран (Рисунок 1). В.Б. Сочава указывает место ландшафта в иерархии геосистем:

«Ландшафтом предложено именовать макрогеохору, что адекватно природному округу. В такой трактовке ландшафт – наиболее крупная таксономическая единица топологической размерности и наименьшее подразделение региональной размерности. От употребления слова «ландшафт» по отношению к геосистемам разного типа и размерностей надо отказываться» (Сочава, 1978). То есть, понятие «ландшафт» находится на стыке региональной и топологической (локальной) размерностей (Рисунок 1) и применяется как правило при средне- и мелкомасштабном ландшафтном картировании значительных по площади регионов.

Наиболее удачные определения, в которых заложена суть учения о ландшафте в виде принципов территориальности, системности и иерархичности, предложена в ГОСТ 17.8.1.01-80 (17.8.1.01-86): «*Ландшафт* – это территориальная система, состоящая из взаимодействующих природных или природных и антропогенных компонентов и комплексов более низкого таксономического ранга. *Структура ландшафта* – набор, соотношение и взаимосвязь входящих в ландшафт компонентов, а также сочетание, пространственное расположение и связи составляющих его комплексов более низкого таксономического ранга. *Компоненты ландшафта* – основные составные части ландшафта, представленные фрагментами отдельных сфер географической оболочки. *Элементы ландшафта* – простейшие части компонентов ландшафта. *Граница ландшафтов* – поверхность раздела смежных ландшафтов, отражающая смену их качеств, свойств».

При крупномасштабном картировании ландшафты рассматриваются на локальном (топологическом) уровне и разделяются на следующие морфологические единицы (Рисунок 1):

- *фация* (от лат. *facies* – лицо, облик) – «предельная категория геосистемной иерархии, характеризующаяся полной однородностью» (Ландшафтоведение..., 2012);

- *урочище* – часть географического ландшафта, представляющая собой комплекс географических фаций, связанных преимущественно с отдельными выпуклыми, вогнутыми или ровными мезоформами рельефа на однородном субстрате и объединяемых общенаправленностью процессов (Исаченко, 1991);

- *местность* – природно-территориальный комплекс более высокого ранга, чем урочище (Исаченко, 1991). Не является обязательным элементом морфологической структуры ландшафта и в данной работе не рассматривается.

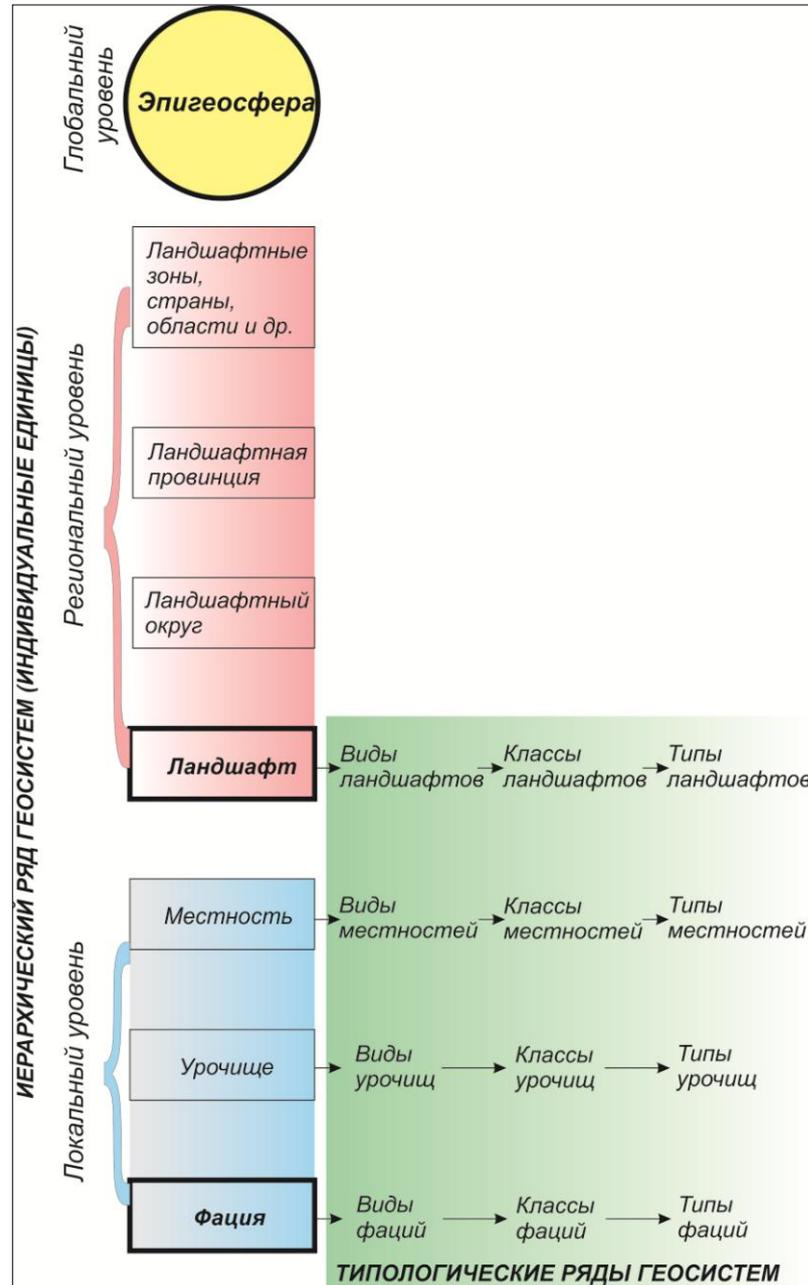


Рисунок 1 – Схема иерархии геосистем

Источник: (Исаченко, 1991).

В настоящее время наиболее распространен комбинированный *индивидуально-типологический* подход, при котором региональные и локальные геосистемы изучаются как в индивидуальном, так и в типологическом плане. Типы ландшафтов выделяются по однородному сочетанию различных компонентов на

конкретных участках, имеющих четкие границы. Несмотря на то, что в природе существуют конкретные (индивидуальные) геосистемы, в практических целях средне- и мелкомасштабного картирования существует потребность их классификационного объединения, в процессе которого опускаются индивидуальные свойства отдельных объектов (Исаченко, 1991). При крупномасштабном картировании наоборот важно выделить уникальные сложные элементарные морфологические единицы – фации.

Помимо термина «природный ландшафт» в науке широко используются схожие по смыслу определения, такие как «геосистема», «биогеоценоз», «экосистема». Во всех случаях авторы по сути говорят об одном и том же, подчеркивая наиболее важные с его точки зрения стороны и рассматривая явление в ракурсе ландшафтоведения, экологии или биогеоценологии. Основные различия в определениях возникают по причине междисциплинарных подходов к изучению взаимодействующих природных компонентов (биосферы и геосферы). В определение понятия «ландшафт» до сих пор не внесено достаточной ясности, хотя оно является одним из основных в географии.

В иностранной литературе наряду с термином «landscape» (ландшафт), который иногда так же применяется в контексте описания общего вида местности (пейзаж), широко используются «habitat» и «biotope». По своей сути они являются синонимами, а различия в трактовках зависят от ракурса рассмотрения ландшафта (предметной области), а так же страны и научной школы. Термин «habitat» (среда обитания) в основном используется для определения конкретного места или природных условий, в которых живет растение или животное. Термин «biotope» переводится как *биотоп* (от греч. βίος – жизнь и τόπος – место) – относительно однородный по абиотическим факторам среды участок геопространства (суши или водоёма), занятый определённым биоценозом. То есть биотоп является абиотической частью биогеоценоза, которая определяет видовой состав обитающих организмов. В иностранной литературе термины «landscape», «habitat» и «biotope» используются как при картировании абиотических характеристик ландшафта, которые определяют видовой состав биоценоза (*абиотический подход*), так и ареалов распространения биоценоза в совокупности со свойственными ему

абиотическими компонентами (*геоботанический или фитосоциологический подход*).

Подводное ландшафтоведение является достаточно молодой наукой. Ее развитие в нашей стране началось в послевоенные годы. Первые высказывания об аналогии аквальных ландшафтов по единству и взаимодействию компонентов с сухопутными, принадлежат Л. С. Бергу и Б. Б. Польшину (Берг, 1945; Польшин, 1956). По мнению Л. С. Берга и С. П. Хромова (Берг, 1945; Хромов, 1949) морской ландшафт представляет собой столь же закономерную и обладающую внутренним единством группировку предметов и явлений, как и ландшафт суши, несмотря на то, что характеризуется иным комплексом взаимодействующих компонентов. В качестве важнейших из компонентов С.П. Хромов выделил подстилающую поверхность моря, термику, окраску, волнение, течения, плавающие льды, айсберги, коралловые рифы, малые острова, климат, флору и фауну поверхностных вод, навигацию (Современные ландшафты..., 2009). Л.С. Берг предлагал ввести термин «*мершафт*» как подводный аналог ландшафта.

Первый обстоятельный анализ факторов, формирующих подводные ландшафты, был опубликован в 1950 (Панов, 1950), где были выделены вертикальные ландшафтные зоны, связанные с основными геоморфологическими элементами дна океана: шельф, материковый склон и ложе океана. В то же время, Б.Б. Польшин подошел к классификации элементарных ландшафтов исходя из оценки условий миграции химических элементов в субаквальных (подводных) фациях, которые образуются на дне водоемов (Исаченко, 1991). В различных справочных изданиях чаще всего встречается определение по классификации Б.Б. Польшина, где «*субаквальный ландшафт* – это местный водоем с преобладанием процесса привноса вещества с твердым и жидким стоком над выносом». Такое определение подчеркивает геохимические свойства подводных ландшафтов, но применимо в первую очередь к водоемам суши (озера, реки, водохранилища и т.п.) и не отражает принципов системности и иерархичности.

Перечисленные выше ранние научные работы были направлены на разработку общих принципов классификации и районирования подводных ландшафтов, а не создание какой-либо методики составления ландшафтных карт. Первый опыт составления карт морских ландшафтов был направлен на изучение

долговременных процессов динамики морских донных сообществ и принадлежит сотрудникам Зоологического института АН СССР (Гурьянова, 1959; Линдберг, 1959). О.Ф. Гурьянова в океанических водах выделяла две различные ландшафтные системы: морские (пелагические), которые формируются на поверхности моря и в пределах водной толщи; и подводные, формирующиеся на дне моря, которые в свою очередь разделяются на отдельные фации и уголья как основные морфологические единицы. Одну из первых наиболее полных теоретических классификаций водных ландшафтов, по аналогии с ландшафтами суши, предложил Ф. Н. Мильков (Мильков, 1966, 1970). Он выделял следующие классы ландшафтов: *литоральные (земноводные)* в приливной и волно-прибойной зоне; *мелководные* на глубинах до 200 м (шельфовая зона); *водные*, слагающиеся 200-метровым поверхностным слоем воды океана, где происходит наиболее активное взаимодействие океана с атмосферой; *донные (подводные)* на глубинах свыше 200 м, которые в свою очередь по глубине разделяются на *батимальные* (материковый склон на глубинах 200-3000 м), *абиссальные* (океаническое ложе на глубинах свыше 2500-3000 м) и *ультраабиссальные* (глубоководные впадины и желоба на глубинах от 6000 м).

По мере дальнейшего развития научного направления были определены различные трактовки подводных ландшафтов (Петров, 1971; Поярков, 1980; Мануйлов, 1982; Преображенский и др., 2000 и др.). Различаются используемая терминология, и подходы к выделению подводных ландшафтов, представление об их структурных единицах, размерах и пространственной протяженности. По-прежнему в понимании морских подводных ландшафтов нет согласия между представителями разных отечественных школ подводного картографирования.

Современные исследования донных ландшафтов в России в основном сосредоточены в дальневосточных морях (Арзамасцев, Преображенский, 1990; Мануйлов, 1990; Преображенский и др., 2000; Илюшин, 2014 и др.), Белом море (Мокиевский, Токарев и др., 2012; Мокиевский, Спиридонов и др., 2012), Карском море (Петров, 2009), Черном море (Современные ландшафты..., 2009; Панкеева и др., 2014), Азовском море (Современные ландшафты..., 2009) и Финском заливе Балтийского моря (Орлова и др., 2008, Орлова и др., 2014). Последние работы по теоретическим основам и методам исследования субаквальных ландшафтов,

принадлежат основателю дальневосточной школы морского ландшафтоведения Б. В. Преображенскому. Он настаивал на том, что классический термин «ландшафт» не подходит в контексте морских геосистем и предлагал ввести новый термин «*бентема*» (производное от «бенталь» и «система») – «подводная (бентосная) геосистема любого ранга» (Преображенский и др., 2000; Преображенский, 2006). По аналогии с сушей, элементарной единицей «бентемы» является «фация», которая выделяется по морфологическим особенностям рельефа дна, типам субстрата и биоценозу. Каждой выделенной типовой фации Б.В. Преображенский дал название (напр. концизий, сегетий, ретина и др.). Введение новой терминологии он обосновывает «рядом специфических для моря физико-географических характеристик». Несмотря на то, что названия фаций, предложенные Б. В. Преображенским, сформулированы для донных геосистем дальневосточных морей, они применялись и в других регионах, например в Черном море (Панкеева и др., 2014). Тем не менее, морские ландшафты имеют большое разнообразие, особенно в шельфовой зоне. При исследованиях морских ландшафтов за пределами морей Тихого океана возникает необходимость постоянного добавления новых названий, характерных для уникальных фаций акваторий исследования, что приводит к значительному разрастанию номенклатуры и усложнению карт. Поэтому индивидуально-типологический подход к выделению фаций, при котором их названия формируются перечислением набора входящих в состав взаимосвязанных компонентов, является более простым и информативным.

В данной работе иерархия морских геосистем рассматривается по аналогии с ландшафтами суши по (Исаченко, 1991), где наименьшей таксономической единицей на региональном уровне является субаквальный «ландшафт», а на локальном – «фация» (Рисунок 1). Наиболее краткое и в то же время емкое определение приведено в ГОСТ 17.8.1.02-88, где «*субаквальный ландшафт (подводный ландшафт)* – это ландшафт, формирующийся в отрицательных формах рельефа, в котором преобладают процессы накопления вещества». Основная разница между подводными и наземными ландшафтами заключается в наличии водной среды с особыми физико-химическими характеристиками и отсутствием света на большей части морского дна. Ландшафты этого типа формируются в зоне

взаимодействия литосферы, гидросферы и биосферы. Оценка субаквальных ландшафтов складывается из таких основных параметров среды на границе вода-дно как геологическое строение дна, особенности микрорельефа дна, гидрологический режим в придонной толще, распределение биоценозов.

В иностранной литературе широко используются термины «marine landscape», «marine habitat» и «marine biotope», которые дословно переводятся соответственно как «морской ландшафт», «морское местообитание» и «морской биотоп». Термин «marine landscape» применяется в основном при типизации ландшафтов по сочетанию абиотических компонентов, а «marine habitat» и «marine biotope» как синонимы используются при выделении мест обитания морских сообществ.

1.2. Обзор существующих методов морских исследований ландшафтов

Существует два основных подхода при исследовании субаквальных ландшафтов: *классический (традиционный)* и *дистанционный*. Выбор метода в первую очередь зависит от ландшафтной школы и масштаба картирования. *Традиционно* ландшафтные карты (схемы) морского дна строились путем совмещения геолого-геоморфологической и биологической информации. По аналогии с сухопутными методами в описании пространственных единиц морского дна доминировало использование визуальной информации, полученной в ходе водолазного обследования. Метод заключается в разбиении дна на небольшие участки (ячейки) и поквартном визуальном осмотре специально подготовленными водолазами ландшафтоведов с составлением на месте описания донных ландшафтов. Такой подход предопределил, небольшие, как правило, размеры объектов картирования и их приуроченность к береговой зоне моря (Методические рекомендации..., 1981; Федоров, 1982; Донные ландшафты..., 1987; Преображенский и др., 2000; Петров, 2004).

Преимуществом такого «визуального» метода является точное определение и «мгновенное» картирование всех основных параметров донного ландшафта на единице площади. При необходимости имеется возможность выполнить моментальный точечный отбор проб донных осадков и бентоса для дальнейших

лабораторных исследований. Такой метод в настоящее время применяется для точного описания донных ландшафтов на небольших участках акватории площадью до 1 км². Основными недостатками являются:

- потребность в водолазах-специалистах, имеющих междисциплинарные знания и большой опыт изучения донных ландшафтов;
- ограниченное время работы водолаза под водой, и соответственно возможность изучения небольших участков дна;
- сложность методики и субъективность описания в зависимости от профессиональной подготовки водолаза;
- ограниченная площадь изучения в пределах видимости водолаза, а при сильной мутности воды отсутствие возможности проведения исследований;
- использование сложных методов позиционирования под водой.

Основным *классическим (традиционным) методом* изучения донных ландшафтов на больших площадях является количественная съемка, которая выполняется с помощью дночерпателей различных конструкций. Коробчатый (боксер) или ковшовый дночерпатель позволяет вырезать и поднимать со дна ненарушенный слой донных отложений известной площади. Так же на мягких (илистых) осадках могут применяться мультикореры, трубки Ниемисте и гравитационные геологические трубки. На каждой судовой станции (точке) в зависимости от сложности отбора выполняется от 3 до 10 заборов грунта и пробы разделяются на различные виды анализа: литологию, геохимию, бентос и др. На основании анализа экспедиционных данных выделяются типы ландшафтов и затем с помощью интерполяции на карте выделяются границы их распространения. Дополнительно для выявления видового разнообразия бентосных организмов может выполняться маршрутная съемка с применением тралов и драг, которая стандартизуется по времени проведения и пройденному расстоянию. Преимуществом такого классического метода является комплексная оценка абиотических и биологических компонентов и возможность выполнения исследований на больших площадях. Однако он обладает множеством недостатков:

- сложность планирования расположения станций и необходимого количества проб на каждой из них. При отсутствии предварительной информации о

литологии и распределении донных сообществ приходится закладывать заведомо больше точек, чем требуется на самом деле;

- точность оценки плотности и биомассы бентоса зависит от количества отобранных проб и характера распределения видов в пространстве (регулярного, случайного, агрегированного);

- для большей достоверности количественных показателей сообщества необходимо большее количество проб, что увеличивает время и стоимость работ;

- точечный отбор проб не гарантирует корректного выделения границ типов ландшафта.

Благодаря бурному развитию техники (аэрокосмические и акустические технологии, подводные фото- и видеонаблюдения) в настоящее время в практике морских исследований активно применяются *дистанционные методы картографирования донных ландшафтов. Аэрокосмические, подводные фото- и видеонаблюдения* являются оптическими методами исследования, поэтому они схожи с классическим подходом картирования ландшафтов на основе визуальной оценки. *Акустические методы* принципиально отличаются от оптических, поскольку вместо фотографии дна анализируется его сонограмма (графическое спектрально-временное представление звуковых колебаний), которая отображает различные физические особенности.

Аэрофото- и спутниковая съемка. Лазерное сканирование. По мере развития аэрокосмических технологий с каждым годом совершенствуются методы изучения морской среды посредством спутниковой и аэрофотосъемки в различных частях видимого и инфракрасного спектра. По способу получения данных съемки разделяются на пассивные и активные. *Пассивная съемка* выполняется цифровым приемником в видимом диапазоне (RGB), ИК-диапазоне (CIR, IR) и тепловом диапазоне (RGB). В зависимости от характеристик аппаратуры возможно получать изображения с различной разрешающей способностью от 15 м (напр. спутник Landsat) до нескольких сантиметров (аэрофотосъемка). Такие съемки позволяют определить общий характер ландшафта и даже пространственное распределение фито- и макрозообентоса в литоральных и мелководных сублиторальных зонах. *Активная съемка* выполняется посредством воздушного лазерного сканирования с использованием лидаров (транслитерация LIDAR англ. Light Identification Detection

and Ranging — световое обнаружение и определение дальности). Съемка выполняется с использованием как пилотируемых, так и беспилотных летательных средств. Суть метода заключается в импульсном излучении и регистрации отраженного от удаленных объектов света с различной длиной волны. Поскольку красные волны практически полностью отражаются от водной поверхности, в морских исследованиях чаще всего используются зеленые и синие лазеры. Световой луч частично проникает в воду, частично рассеивается в ней и отражается от морского дна. В мутной воде глубина проникновения лидара 20-30 м, в прозрачной воде синий лидар работает до глубин 100 м. Основное назначение лидара – топографическая и батиметрическая съемка. Свойства, которые могут быть измерены помимо батиметрии, включают ослабление интенсивности луча, диффузное затухание, поглощение, объемное рассеяние и полное обратное рассеяние. Лидар можно использовать для определения относительных вертикальных распределений рыбы, планктона, пузырьков и других рассеивающих частиц. Используя рассеяние в качестве индикатора, лидар может предоставить информацию о динамике верхнего слоя океана, включая глубину слоя перемешивания, внутренние волны и турбулентность (Churnside, 2014).

Основными преимуществами спутниковой съемки является большая площадь покрытия и относительно низкая стоимость. Регулярные пролеты спутника позволяют не только фиксировать состояние ландшафтов мелководья, но и выполнять их мониторинг. Существенными недостатками является сравнительно низкое разрешение снимка, влияние облачности, возможность применения только на мелководье с приемлемой прозрачностью воды. Аэрофотосъемка высокого разрешения и воздушное лазерное сканирование, как правило, выполняются совместно. Данный метод в настоящее время является наиболее перспективным при изучении ландшафтов береговой зоны. Основным преимуществом данного метода по сравнению со всеми остальными является возможность детальной съемки литорали и мелководной части сублиторали в труднодоступных местах (мелководье от уреза воды до глубины 5 м, сложном рельефе дна с крупными валунами и отмелями, заросшие макрофитами акватории). Высокая точность и разрешение получаемых данных позволяет проводить крупномасштабное картирование. Основными недостатками воздушного лазерного сканирования по-

прежнему остаются его высокая стоимость и малая доступная глубина съемки. Кроме того существуют ограничения по мутности воды и погодным условиям в процессе съемки (туман, сильный боковой ветер, осадки).

Подводная фото- и видеосъемка. Основателем подводной фотографии считается французский гидробиолог Луи Бутан (Louis Boutan), который в 1892-1900 гг. сконструировал несколько подводных фотокамер и опубликовал результаты своей работы. С тех пор по мере улучшения фотокамер совершенствовались способы их применения при изучении морского дна. Классическое водолазное обследование дна с применением подводных фотокамер является опасным и имеет ограничения по глубине и продолжительности работ. Опасными так же являются обследования дна с помощью обитаемых подводных аппаратов. Поэтому до сих пор активно развиваются технологии дистанционной подводной фото- и видеосъемки. В зависимости от решаемых задач она выполняется множеством различных способов.

Самым дешевым способом является съемка морского дна на судовой станции цифровой камерой в герметичном подводном боксе с внешним освещением. Камера закрепляется на опускаемую под воду раму или пробоотборник осадков для одновременного прицельного взятия проб. Такой способ позволяет с большой точностью зафиксировать координаты съемки посредством спутниковой системы позиционирования. Камера в раме может так же устанавливаться на дно в составе автономных донных станций с целью проведения долгосрочных наблюдений за ключевым участком дна. Простым и дешевым способом площадного фотографирования дна является буксировка за судном подводной видеокамеры. На буксируемое тело, как правило, устанавливается одна камера под прямым углом (для количественной обработки) и несколько панорамных камер (для составления ландшафтных описаний). Основными недостатками такого способа является съемка «вслепую», что не позволяет предотвратить столкновение с возможными подводными препятствиями, а так же быстро вернуться к обнаруженному интересующему объекту. Точные координаты съемки при таком способе можно определить только с помощью сложных подводных систем позиционирования.

С развитием подводной робототехники в изучении донных ландшафтов стали применяться современные *телеуправляемые необитаемые подводные аппараты* (ТНПА, англ. ROV – remotely operated underwater vehicle) и *автономные необитаемые подводные аппараты* (АНПА, англ. AUV – autonomous underwater vehicle). Особенность и основное преимущество аппаратов в том, что с помощью них осуществляется обследование дна без погружения человека под воду, но при этом весь процесс полностью контролируется оператором. Модели аппаратов разрабатываются как для мелководья с глубинами сотни метров (небольшие размеры и вес от единиц до нескольких десятков килограмм), так и для океанических глубин до 6000 м (крупные габариты и вес до нескольких тонн).

Телеуправляемый подводный аппарат соединяется силовым кабелем с бортом судна, по которому поступает электрическое питание на двигатели и навесное оборудование, а так же управляющие команды оператора. С аппарата на судовой блок по кабелю в режиме реального времени передается изображение с видеокамер и данные от различных датчиков. Помимо видеокамер ТНПА может снабжаться манипулятором, позволяющим прицельно отбирать пробы, гидролокатором кругового обзора для обнаружения подводных препятствий и многими другими датчиками (подводного позиционирования, СТД, оптическими, химическими и т.п.). Современные комплексы на базе ТНПА позволяют проходить трансекты под управлением оператора, при этом судно-база автоматически следует за аппаратом. Таким образом ТНПА позволяет выполнять безопасное визуальное обследование дна на больших акваториях и на любых глубинах. В последние годы ТНПА все чаще применяются в ландшафтных исследованиях.

Автономные подводные аппараты зачастую разрабатываются на базе торпеды, где вместо боевой части располагается научное оборудование. Основное отличие АНПА в том, что он не имеет постоянного соединения с судном посредством кабеля. Питание аппарата осуществляется от аккумуляторов. Как правило АНПА имеет модульную компоновку. В зависимости от решаемых задач к основной движимой части пристыковываются различные модули, каждый из которых содержит определенный набор датчиков. Помимо видеоаппаратуры прибор оснащается геофизическими, гидрофизическими и прочими датчиками. Ландшафтная съемка ведется автономно по заранее запрограммированной

траектории. Данные передаются по сотовому (спутниковому) каналу связи или записываются во внутреннюю память аппарата и выгружаются по возвращении на базу. В настоящее время автономные аппараты все чаще используются при картировании донных ландшафтов за рубежом и практически не используются в нашей стране. В первую очередь это связано с их высокой начальной стоимостью. Тем не менее, учитывая экономию средств, затрачиваемых при проведении традиционных судовых экспедиций, окупаемость АНПА с каждым годом становится все выше. Очевидно, что в будущем с удешевлением технологий изготовления автономных аппаратов и увеличением функциональности большинство подводных исследований будет выполняться с их использованием.

Дистанционные методы ландшафтного картирования дна с помощью фото- и видеосъемки целесообразно выполнять в следующих случаях:

- исследование донных ландшафтов на твердых субстратах, на которых использование пробоотборников не приемлемо;
- детальное описание мозаичного распределения типов ландшафтов на небольшом участке;
- проведение количественного учета крупного зоо- и фитобентоса, не улавливаемого пробоотборниками;
- быстрое получение визуальной информации о биологических и абиотических компонентах ландшафта на небольшой акватории.

Основные недостатки методов дистанционного фотографирования дна:

- ограниченная площадь обзора или полное отсутствие видимости в мутной воде;
- низкая скорость прохода по профилям, что обуславливает небольшие размеры акватории исследования;
- сложные (находящиеся на стадии разработки) методы автоматического выделения и классификации донных ландшафтов по фотоизображению дна.

Геофизические методы. В настоящее время геофизические (геоакустические) методы получили наибольшее распространение при изучении субаквальных ландшафтов. Их применение в первую очередь обусловлено тем, что звуковые волны по сравнению с электромагнитными имеют малое затухание в водной среде и могут преодолевать значительные расстояния (от нескольких

десятков до тысяч километров). Уровень затухания зависит от частоты: высокочастотные волны затухают быстрее, чем низкочастотные. На дальность распространения звуковой волны помимо затухания влияет рефракция (преломление), рассеяние и поглощение различными неоднородностями водной среды. При достижении поверхности дна часть звуковой волны отражается, остальная звуковая энергия частично проникает в толщу осадков, а частично рассеивается во всех направлениях. Эти свойства легли в основу создания множества различных акустических приборов (сонаров), каждый из которых отличается способами и характеристиками формирования, приема и обработки звукового сигнала. В целях картирования донных ландшафтов в первую очередь используются гидролокаторы бокового обзора (ГЛБО), эхолоты однолучевые (ОЛЭ) и многолучевые (МЛЭ), а так же в некоторых случаях акустические профилографы.

Гидролокатор бокового обзора представляет собой систему, состоящую из приемоизлучающей антенны и палубного блока управления и регистрации данных. Антенная решетка ГЛБО имеет вытянутую по направлению движения форму, которая формирует узкую диаграмму направленности звуковой энергии вдоль антенны (по направлению ее перемещения) и значительно более широкую в поперечной плоскости. Как правило одна антенна ГЛБО состоит из двух решеток, расположенных по разные стороны от ее продольной оси для формирования сигнала слева или справа. Антенна буксируется на кабель-тросе в обтекателе, либо жестко крепится к борту или днищу судна. По мере перемещения судна антенна с определенной периодичностью посылает и принимает обратно рассеянный поперек направления движения акустический сигнал (пинг). Расстояние до каждого объекта на дне определяется как произведение скорости звука в воде на половину временного интервала между излучением и приемом отраженного импульса. При последовательном сложении поперечных линий формируется полное акустическое изображение дна (сонограмма), характеризующая величину обратного рассеяния (backscatter strength) на единице площади (акустически освещенной площадке). Размеры акустически освещенной площадки обратно пропорциональны частоте волны сформированной сонаром. Чем больше частота звуковой волны, тем меньше акустически освещенная площадка и соответственно выше пространственное

разрешение сонограммы. Однако с повышением частоты звуковой волны увеличивается ее затухание и соответственно уменьшается полоса обзора ГЛБО. Поэтому в зависимости от масштаба ландшафтного картирования происходит выбор в сторону увеличения полосы обзора для покрытия большой акватории или повышения разрешающей способности ГЛБО для выявления мелких деталей на поверхности дна. Пространственное разрешение вдоль профиля зависит от скорости буксировки аппарата (чем меньше скорость, тем выше разрешение) и ширины луча в продольной плоскости (чем уже луч, тем выше разрешение).

Интенсивность обратного рассеяния зависит от трех основных факторов: величины угла скольжения, который уменьшается по мере удаления от источника; мгновенного значения площади акустического освещения, которое увеличивается по мере уменьшения угла скольжения; свойств донного грунта. Два первых фактора имеют постоянное влияние на изменение величины обратного рассеяния, которое компенсируется программными средствами и практически не отображается на сонограмме. Главным образом эти факторы влияют на разрешение сонограммы (по мере удаления от источника излучения уменьшается ее пространственное разрешение), которое невозможно улучшить программными средствами. Таким образом, именно характеристики дна определяют изменчивость величины обратного рассеяния и отображаются на сонограмме ГЛБО в виде зон с различной интенсивностью цвета. На интенсивность звукового рассеяния и соответственно проявления темных и светлых областей на сонограмме влияют следующие основные характеристики морского дна:

- плотность донных отложений – чем плотнее осадок, тем сильнее обратное рассеяние и наоборот рыхлые (например, илистые) отложения хорошо поглощают звуковую волну;

- шероховатость поверхности донных отложений – шероховатая поверхность (например, за счет наличия гальки или крупнозернистых песков) сильнее рассеивает звук, чем гладкая поверхность мелкозернистых осадков;

- микрорельеф дна и техногенные объекты – возвышения дна, обращенные в сторону приемника, на сонограмме выделяются более сильным сигналом. Чем ближе угол падения к вертикальному, тем выше величина обратного рассеяния. За

возвышением на дне образуется акустическая тень, по размерам которой можно оценить высоту объекта;

- донные сообщества – растения и организмы имеют плотность, отличную от плотности придонной воды и донных отложений, поэтому их скопления так же выделяются на сонограмме изменением интенсивности рассеяния. Особенно сильное влияние оказывают водоросли и косяки рыб за счет наличия в их теле воздушного пузыря.

Съемка ГЛБО выполняется по параллельным профилям (галсам), расстояние между которыми выбирается так, чтобы сонограммы соседних галсов частично накладывались друг на друга. Тем самым достигается минимум 100% акустическое освещение дна. В процессе постобработки выполняется фильтрация данных, подбор оптимального усиления и объединение всех сонограмм в одну мозаику ГЛБО. Традиционно на мозаике вручную выделяются границы изменения интенсивности обратного рассеяния, и каждой зоне присваивается определенный тип ландшафта согласно отобраным на них пробам донных отложений и материалам видеосъемки.

Основной недостаток гидролокации бокового обзора при картировании субаквальных ландшафтов в получении только акустического изображения поверхности дна без батиметрии, которая является одним из важнейших компонентов. Исключение составляют интерферометрические (батиметрические) гидролокаторы бокового обзора, которые за счет сложного многоэлементного строения антенн позволяют получать дополнительно площадную батиметрию. Однако по причине того, что технология находится на стадии развития, возникают сложности в обработке данных и получении качественной батиметрической поверхности. Поэтому съемка ГЛБО, как правило, сопровождается эхолотным промером. Однолучевой эхолотный промер (ОЛЭ) позволяет определять глубины на галсе непосредственно под излучающей антенной. В процессе построения цифровой модели рельефа дна промежутки между галсами заполняются интерполированными значениями, и результатом является лишь приближенная батиметрическая поверхность. Детальная съемка рельефа выполняется с помощью многолучевого эхолота (МЛЭ), который позволяет получать отметки глубин высокого разрешения на некоторой площади (полосе обзора). Точность

определения глубин, пространственное разрешение и максимальная ширина полосы обзора в основном зависят от частоты эхолота и максимального количества лучей. Технология выполнения съемки в целом аналогична ГЛБО. В процессе постобработки данные по каждому галсу фильтруются, удаляются краевые лучи и выбросы, вводятся калибровочные коэффициенты, профиль скорости звука и уровенные поправки. Промеры всех галсов объединяются, и строится цифровая модель рельефа дна высокого разрешения на основе покрытия более чем 100% дна отметками глубин. Таким образом батиметрическая поверхность МЛЭ наиболее точно отражает все особенности микрорельефа и позволяет выполнять детальное картирование субаквальных ландшафтов. Наряду с отметками глубин современные многолучевые эхолоты позволяют регистрировать интенсивность обратного рассеяния акустического сигнала аналогично сонограмме ГЛБО. Однако, несмотря на такую возможность, разрешение сонограмм МЛЭ гораздо ниже, чем у ГЛБО. Поэтому при детальном высокоразрешающем картировании донных ландшафтов необходимо выполнять съемки МЛЭ и ГЛБО одновременно.

В настоящее время получили широкое применение и продолжают совершенствоваться методы автоматической классификации поверхности дна при совместном использовании мозаики ГЛБО и батиметрии МЛЭ или ОЛЭ с выделением типов субстратов и донных организмов (Brown at al., 2011; Diesing at al., 2014; Hass at al., 2017; Holler at al., 2017). Наиболее распространены такие коммерческие программные продукты как RoxAnn Seabed Classification (Sonavision Ltd), QTC Swathview seafloor classification (Quester Tangent Inc.), НУРАСК GEOCODER (Xylem Inc.), SonarWiz seabed classification (Chesapeake Technology, Inc.) и др. Несмотря на большой выбор программ для обработки геофизических данных, каждая из них имеет свои недостатки, которые до сих пор не позволяют полностью автоматизировать процесс картирования субаквальных ландшафтов.

Таким образом, основными преимуществами геофизических методов при картировании субаквальных ландшафтов являются: отсутствие ограничений по глубине картирования (за исключением глубин 0-5 м); выполнение непрерывных детальных исследований больших участков дна за относительно короткий период времени; проведение исследований не зависимо от мутности воды и других ее физико-химических характеристик; минимизация «человеческого фактора» при

картировании донных ландшафтов за счет развития автоматических методов классификации. Акустические методы имеют и ряд недостатков: при ручном дешифрировании акустических записей не все объекты на дне могут однозначно идентифицироваться; современные методы автоматической классификации донных ландшафтов по акустическим записям находятся на стадии развития, что обуславливает их несовершенство, сложную методику и наличие множества ошибок особенно на сложном рельефе с мозаичным распределением донных отложений; высокая стоимость геофизических работ.

Наилучшие результаты достигаются при комплексном подходе к изучению субаквальных ландшафтов, заключающемся в совместном использовании нескольких взаимодополняющих дистанционных методов, которые позволяют получать более точные результаты с более высоким уровнем достоверности, чем при водолазных и дночерпательных отборах по сетке станций. Кроме того, дистанционные методы позволяют эффективно осуществлять мониторинг состояния донных ландшафтов. На глубинах от 0 до 5 м наиболее эффективно сочетание аэрофотосъемки, донного пробоотбора на сетке станций и подводного фотографирования с помощью ТНПА или опускаемой вертикально на тросе видеокамеры. На глубинах от 5 до 100 м оптимальным вариантом является применение геофизических методов (ГЛБО и МЛЭ) в сочетании с донным пробоотбором и подводным фотографированием с помощью ТНПА. Так же возможно применение спутниковой и аэрофотосъемки. На таких глубинах активно развивается и в будущем получит наибольшее применение технология съемки с помощью АНПА, которые сочетают выполнение геофизической съемки (ИГЛБО) и подводного фотографирования за один проход по профилю. На глубинах от 100 м и более геофизические методы (ГЛБО и МЛЭ) в сочетании с донным пробоотбором и подводным фотографированием являются единственным способом получения информации о донных ландшафтах. Развиваются так же глубоководные АНПА, но они имеют большие размеры (до нескольких тонн) и высокую стоимость по сравнению с традиционными геофизическими приборами. Традиционные методики водолазного исследования ландшафтов остаются актуальны только для небольших участков дна в мелководной береговой зоне в целях калибровки дистанционных данных и проверки гипотез, основанных на дистанционных исследованиях.

1.3. Классификации субаквальных ландшафтов и методы их картографирования

В России и за рубежом существует несколько научных школ подводного ландшафтоведения, каждая из которых подходит к вопросу выделения ландшафтов с разных аспектов, поэтому остается открытым и дискуссионным вопрос их классификации и выделения границ. Биологи в первую очередь типизируют донные ландшафты по ареалам распространения донных биоценозов. Однако составление ландшафтных карт по биологическим данным затруднено в связи с тем, что до настоящего времени не развиты технологии высокоразрешающей площадной съемки биологических сообществ, а так же затруднено прямое выделение границ их распространения. Поскольку получение объективных биологических данных по сравнению с абиотическими в морских условиях затруднено, а так же не все участки дна занимают растения и организмы, традиционные фитосоциологические классификации не нашли применение при картировании субаквальных ландшафтов. Исключение составляют некоторые работы на небольших участках дна.

Наибольшее развитие получили методы, основанные на выделении субаквальных ландшафтов по совокупности абиотических компонентов, которые определяют природные условия для развития бентоса. Разработано множество методик по картированию абиотических компонентов ландшафта (мест обитания или биотопов) на основе высокоточных дистанционных данных. В основе абиотического подхода заложен принцип выделения границ типов ландшафтов по физическим характеристикам дна и затем определения закономерности распространения биологических сообществ на каждом выделенном участке. Например, для «твердого дна» характерно обитание макрофитов, сидячих или малоподвижных животных. «Мягкому дну» отдают предпочтение заросли морских трав, различные животные (моллюски, черви, ракообразные) и мегафауна. Границы основных физических признаков биотопа, таких как батиметрия, особенности микрорельефа дна, уклон дна, тип субстрата, выделяются на основе данных геофизических методов, аэрофотосъемки и донного пробоотбора. С использованием геоинформационных систем (ГИС) создаются слои по каждому

абиотическому компоненту и различными способами (ручными или автоматическими) выделяются границы его элементов. Объединение всех ГИС-слоев абиотических компонентов позволяет выделить границы типов ландшафтов согласно принятой классификации. В ходе дальнейших биологических работ определяется видовой и количественный состав бентоса, характерного для каждого типа ландшафта.

Поскольку до сих пор не разработан единый метод выделения типов донных ландшафтов нет и однозначной методики их картирования, и, как следствие, не существует государственного стандарта по картированию ландшафтов, в том числе субаквальных. Ландшафтные карты упоминаются только в ГОСТ Р 52155-2003, который устанавливает общие технические требования к федеральным, региональным и муниципальным географическим информационным системам (ГИС). Ландшафтные карты в нем указываются как один из основных материалов для создания цифровой модели местности (ЦММ), но до сих пор в России не разработана стандартная классификация ландшафтов и методы их картографирования.

В США и европейских странах в рамках различных государственных программ выполнено несколько проектов по созданию унифицированной классификации и методики картирования биотопов, направленных в первую очередь на создание карт для специалистов по охране природы и пространственному планированию. В США Национальное управление океанических и атмосферных исследований (NOAA) инициировало формирование Стандарта береговой и морской экологической классификации (СМЕКС) в качестве национальной стандартной схемы морской классификации и документирования и описания экологически значимых единиц в формате, который использует общую терминологию науки, управления ресурсами и охраны природы (Madden et al., 2009). Классификация несколько раз корректировалась, и последняя версия датируется 2012 годом. Данная классификация практически идентична европейской.

В европейских странах традиционно составлялись карты растительного покрова (vegetation map), которые обычно классифицировались по видовому составу или физиогномике. После того, как в 1992 году вступила в силу Директива

ЕС (Council Directive..., 1992), ландшафтное картирование в Европе получило направление в сторону выделения типов мест обитания или биотопов (Icher et al., 2014), и стали разрабатываться различные классификации. Первая стандартная классификация Corine Biotopes была опубликована в 1991 г. (Devillers et al., 1991) в рамках одноименного проекта, целью которого была идентификация и описание наиболее важных биотопов (habitats) в целях их охраны в пределах ЕС. Эта иерархическая система классификации предназначалась для всех естественных и полу-естественных типов биотопов, но была ограничена охватом субэкральных ландшафтов. Несмотря на то, что классификация основана на фитосоциологическом (геоботаническом) подходе, она также включала другие факторы, такие как география, климат и почва, и охватывала несколько типов биотопов без растительного покрова (например, ледники и лавовые трубы). Первоначальная версия Приложения I Директивы ЕС (Council Directive..., 1992), опубликованная в 1992 году, является выборкой из классификации Corine Biotopes. В рамках различных проектов классификация Corine Biotopes расширялась, охватывая всю территорию европейских стран, однако морские донные ландшафты практически не были представлены.

В 1995 году Европейское агентство по окружающей среде (European Environment Agency, EEA) разработало стандартную европейскую классификацию EUNIS (European Nature Information System) (Davies, Moss, 1999) в целях комплексной иерархической классификации наземных, пресноводных и морских биотопов. В настоящее время она является общим языком для описания типов местообитаний в ЕС. Классификация биотопов EUNIS получила широкое распространение среди практиков и политиков в области окружающей среды в Европе, и является инструментом стандартизации для Европейского агентства по окружающей среде и его стран-членов. Директива ЕС INSPIRE, направленная на создание инфраструктуры пространственных данных Европейского Союза для обеспечения экологической политики и деятельности ЕС по воздействию на окружающую среду, предлагает использовать классификацию местообитаний EUNIS как основу для выделения биотопов.

Наземная и пресноводная классификации EUNIS основаны на нескольких предшествовавших проектах, в особенности на классификации Corine Biotopes

(Devillers et al., 1991), классификации местообитаний Палеарктики (Devillers, Devillers-Terschuren, 1996), Приложении I Директивы ЕС по местообитаниям (Council Directive..., 1992) и др. Морская часть EUNIS основана на классификации BioMar, изначально разработанной для Северо-Восточной Атлантики (Connor et al., 1997a,b). Поскольку изначально система была адаптирована под океанические условия, для которых свойственны большие глубины, выходы кристаллического фундамента на поверхность дна и наличие литоральной (приливно-отливной) зоны, она не являлась оптимальной для шельфового Балтийского моря, т.к. не отражала многие детали и в то же время обладала избыточной информацией. По мере развития система EUNIS была адаптирована под шельфовые моря, в том числе и Балтийское море, и до сих пор постоянно корректируется, расширяется и совершенствуется.

EUNIS представляет собой иерархическую 5-и уровневую систему, где на каждом уровне укрупняется масштаб картирования и увеличивается детальность выделения биотопов (Рисунок 2). Самые мелкие по площади местообитания EUNIS на детальном уровне могут описывать «микробиотопы» мелких беспозвоночных и низших растений, которые могут занимать площади менее 1 м². Верхнего предела по площади не существует.

На первом уровне выделяется 11 типов ландшафтов, которые разделяются на морские (Marine habitats), береговые (Coastal habitats), наземные (Inland) и др., и им присваивается буквенный код. Морским биотопам соответствует индекс «А». На втором уровне субаквальные ландшафты делятся по глубине моря и типу субстрата на 6 типов (А1-А6). По глубине типы ландшафтов разделяют на (Рисунок 3): литоральный (Littoral) – зона прилива-отлива и волноприбойная зона; сублиторальный (Sublittoral) – от границы литоральной зоны до границы континентального шельфа (глубина 200 м), который в свою очередь делится на инфралиторальный (Infralittoral, сублитораль в фотической зоне, где распространяются растения) и циркалиторальный (Circalittoral, сублитораль, где отсутствует свет и растительность); глубоководный донный (Deep-sea bed) – морское дно за границей континентального шельфа (глубины более 200 м).

Поскольку Балтийское море является шельфовым, оно не имеет глубоководных ландшафтов и делится только на три зоны: *литоральная*

(волноприбойная зона), *инфралиторальная* (фотическая зона) и *циркалиторальная* (афотическая зона).

- ☐ A : Marine habitats
 - ☐ A1 : Littoral rock and other hard substrata
 - ☐ A2 : Littoral sediment
 - ☐ A3 : Infralittoral rock and other hard substrata
 - ☐ A4 : Circalittoral rock and other hard substrata
 - ☐ A5 : Sublittoral sediment
 - ☐ A5.1 : Sublittoral coarse sediment
 - ☐ A5.2 : Sublittoral sand
 - ☐ A5.21 : Sublittoral sand in low or reduced salinity
 - ☐ A5.22 : Sublittoral sand in variable salinity (estuaries)
 - ☐ A5.23 : Infralittoral fine sand
 - ☐ A5.231 : Infralittoral mobile clean sand with sparse fauna
 - ☐ A5.232 : *Sertularia cupressina* and *Hydrallmania falcata* on tide-swept sublittoral sand with cobbles or pebbles
 - ☐ A5.233 : *Nephtys cirrosa* and *Bathyporeia* spp. in infralittoral sand
 - ☐ A5.234 : Semi-permanent tube-building amphipods and polychaetes in sublittoral sand
 - ☐ A5.235 : Mediterranean communities of fine sands in very shallow waters
 - ☐ A5.236 : Mediterranean communities of well sorted fine sands
 - ☐ A5.237 : Pontic communities of well sorted fine sands
 - ☐ A5.24 : Infralittoral muddy sand
 - ☐ A5.25 : Circalittoral fine sand
 - ☐ A5.26 : Circalittoral muddy sand
 - ☐ A5.27 : Deep circalittoral sand
 - ☐ A5.28 : Mediterranean communities of superficial muddy sands in sheltered waters

Рисунок 2 – Пример иерархической структуры классификации морских ландшафтов EUNIS

Источник: (<http://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser.jsp>).

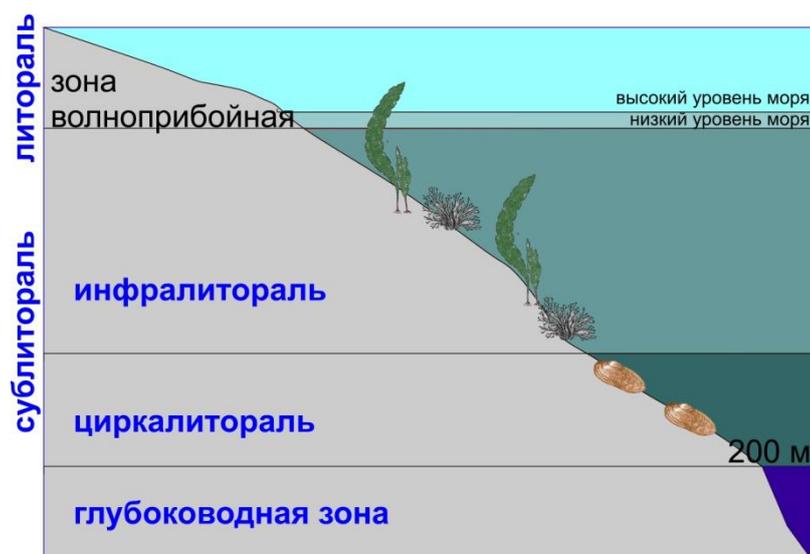


Рисунок 3 – Вертикальная зональность водоемов по классификации EUNIS

Составлено автором на основе (Connor et al, 1997a,b).

По типу субстрата биотопы делятся на две категории: *скалистые и прочие твердые субстраты* (Rock and other hard substrata) – скалистое дно, валунные отмостки и прочие твердые поверхности; *осадочные* (sediment) – участки дна, покрытые различными типами осадков от гравия и гальки до илистых отложений. Так же на втором уровне в отдельные классы выделяются пелагическая водная толща (A7 – Pelagic water column) и покрытые льдом морские местообитания (A8 – Ice-associated marine habitats). На третьем уровне EUNIS применяется более детальная градация типов субстратов. Осадки разделяются на грубые (coarse sediment), пески (sand), илы (mud) и смешанные (mixed). Индекс третьего уровня формируется добавлением числа справа, отделенным от второго уровня точкой. На четвертом уровне при выделении биотопов учитываются региональные особенности, соленость вод и в некоторых случаях преобладающие сообщества. На пятом уровне детализации применяются классификации, учитывающие основные особенности морского дна при крупномасштабном картировании субаквальных ландшафтов, которые пересекаются с другими уже имеющимися национальными и региональными классификациями. На пятом уровне детализация в первую очередь касается видового состава преобладающих донных сообществ. На четвертом и пятом уровнях при формировании индекса добавляется числовое обозначение справа без разделителя. Таким образом, каждый тип ландшафта в классификации EUNIS имеет свой уникальный код, где количество буквенно-цифровых знаков соответствует иерархическому уровню классификации биотопа. На каждом иерархическом уровне типы сопровождаются подробным текстовым описанием. Основным достоинством EUNIS является иерархичность и масштабируемость.

На основе EUNIS выполнен ряд международных проектов по картированию субаквальных ландшафтов европейских морей, в том числе Балтийского моря. В 2004-2008 гг. при финансовой поддержке программы ЕС INTERREG IIIB NWE и участии пяти европейских стран под руководством Комитета по охране природы Великобритании (Joint Nature Conservation Committee, JNCC) в рамках проекта MESH была создана геоинформационная система морских биотопов в территориальных водах Великобритании, Ирландии, Бельгии, Франции и Нидерландов (<http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/default.aspx?page=2003>). Преемником проектов MESH и MESH Atlantic по сбору и составлению карт

морских биотопов в настоящее время является европейский проект EMODnet Seabed Habitats. В первой фазе проекта (2009-2012 гг.) по результатам морских исследований и литературным данным с использованием уровней 3 и 4 системы классификации EUNIS была составлена карта морских биотопов (EUSeaMap), покрывающая около 2 миллионов квадратных километров территориальных вод европейских стран. На втором этапе (2013-2016 гг.) покрытие карт было распространено на все европейские моря, а существующие карты были несколько улучшены. В результате создана открытая для доступа интерактивная обзорная карта (масштаба 1:1000000) северо-восточной части Атлантического океана, Макаронезии, Балтийского, Средиземного и Черного морей (http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/default.aspx?mapInstance=MESHAtlanticMap_&page=1974&LAYER_S=EUSM2016&zoom=4&Y=58.17343710363403&X=8.223266600419677). На

некоторых ключевых участках береговой зоны Великобритании и Франции было выполнено детальное картирование субаквальных ландшафтов с использованием современных дистанционных методов, в Балтийском море такие участки не представлены. В настоящее время по мере поступления новых данных система обновляется. На сайте доступен сервис, где любая организация может загрузить свои данные в указанном формате для последующего пересчета карты биотопов на соответствующем участке. В системе предусмотрена возможность перехода от региональной классификации биотопов к классификации EUNIS. Последние результаты проекта EMODnet Seabed Habitats в Балтийском море были представлены в 2016 г. на международной конференции «The 13th colloquium on Baltic Sea marine geology» в г. Гданьске (Kotilainen et al, 2016).

Несмотря на использование стандартизованного подхода, система EMODnet Seabed Habitats имеет множество недостатков, особенно в пределах Балтийского моря. Границы донных биотопов в Российском секторе юго-восточной части Балтийского моря являются грубыми и не согласуются с границами ландшафтов в исключительных экономических зонах (ИЭЗ) соседних стран, применяются недостоверные данные о субстратах. Недостатки в первую очередь связаны с разрозненностью исходных данных и привлечением ограниченного количества открытых литературных данных, поскольку Российская сторона в этом проекте не привлекалась. Так же имеют место грубые методические ошибки в

акватории Балтийского моря. Например, для выделения биотопов в качестве стандарта предложены такие компоненты, как энергия воздействия волн и течений на дно (*kinetic energy due to currents and kinetic energy due to waves*), которые в числе прочих определяют особенности местообитания донных организмов. В береговой зоне и на мелководных банках, как правило, такая энергия возрастает, а с увеличением глубины убывает. В Балтийском море вместо предложенных стандартных параметров применяется полученный в результате моделирования индекс волнового воздействия на поверхности моря (*wave exposure index at surface*), который отражает максимальную энергию волн в центральной глубоководной части Балтийского моря и минимальную в береговой зоне и лагунах. Такая замена неравнозначна, поскольку, несмотря на большую энергию волн в центральной Балтике, их воздействие на дно практически отсутствует из-за относительно большой глубины моря во впадинах (от 60 до 470 м). И наоборот, несмотря на меньшее значение энергии волн вблизи берега, по сравнению с открытой частью моря, их воздействие на дно значительно возрастает. Поэтому данный параметр является не только избыточным, но и вводит в заблуждение. Отсутствуют также такие важные компоненты, как зона волнового воздействия на дно, температура воды и геоморфологические особенности рельефа дна.

В 2005 – 2007 гг. в Балтийском море в рамках программы Евросоюза BSR INTERREG IIIB был реализован проект BALANCE, направленный на развитие инструментов пространственного морского планирования. Он имел целью развитие широкомасштабного экосистемного подхода к картированию уникальных природных ландшафтов Балтийского моря, Каттегата и частично Скагеррака. В рамках проекта было выполнено региональное картирование морских донных ландшафтов Балтийского моря с использованием ГИС-технологий (Al-Hamdani et al., 2007; Al-Hamdani, Reker, 2007). Подход, реализованный в проекте BALANCE, опирался на концепцию морских ландшафтов, впервые предложенную в Канаде для целей охраны морской среды (Roff, Taylor, 2000). Позднее этот подход был применен в Европе – в Ирландском море (Vincent et al., 2004) и территориальных водах Великобритании (Connor et al., 2007). Эта концепция предназначена для составления экологически значимых карт акваторий в условиях ограниченной или отсутствующей биологической информации. Она учитывает связь донных

биоценозов с абиотическими параметрами морской среды и основана на использовании доступных разномасштабных геологических, геоморфологических и гидрологических данных. Картирование различных абиотических данных сводится к формированию тематических ГИС-слоев, из сочетания которых получают различные типы ландшафтов. Донные ландшафты выделялись по свойствам поверхностных осадков (субстратов), придонной солености и освещенности дна. Несмотря на малый набор компонентов, в масштабе всего Балтийского моря они являются ключевыми, достоверно отражают абиотическую часть ландшафтов и не содержат избыточной информации. Результаты картирования BALANCE сопоставимы с четвертым уровнем классификации EUNIS и могут использоваться в качестве основы для детального картирования пятого уровня с добавлением дополнительных важных компонентов. Однако, ввиду ограниченного участия в проекте BALANCE российских представителей, данные по двум российским секторам Балтийского моря, расположенным в Финском заливе и Гданьском бассейне, были недостаточно полными (Al-Hamdani et al., 2007). Поэтому итоговая карта содержит много неточностей, касающихся в основном распределения донных отложений.

Наиболее распространенный метод крупномасштабного картирования на локальном уровне основан на выделении донных ландшафтов по геоморфологическим особенностям рельефа дна. По аналогии с ландшафтами суши одним из фундаментальных компонентов при выделении субаквальных биотопов является рельеф, как определенный геоморфологический комплекс, который связан с однородным геологическим фундаментом и однотипным характером экзогенных процессов. Микрорельеф дна является важным компонентом ландшафта и определяющим фактором для распределения других слагающих его компонентов, таких как типы осадков, биологические сообщества, придонная гидро- и литодинамика. Многие физические и биологические процессы, воздействующие на ландшафт, сильно коррелируют с топографическим местоположением: в некоторых случаях среда обитания видов может быть частично или полностью определена тем, что это вершина холма, дно долины, плоская равнина, верхний или нижний склон и т. д. Таким образом, выделение положительных и отрицательных форм рельефа разных порядков, как территориальных структурных

единиц, характеризующих интенсивность вещественно-энергетических потоков, является основной задачей ландшафтного картирования.

Современные геофизические методы позволяют получать высокоразрешающие данные о рельефе и донных отложениях и применять методы автоматической классификации субаквальных ландшафтов по сонарным и батиметрическим данным. Наиболее прогрессивная методика выделения донных микроландшафтов на небольших участках основана на расчете *Индекса Батиметрической Позиции (Bathymetric Position Index* или *BPI*, далее в тексте *ИБП*) по цифровой модели рельефа дна, полученной в результате батиметрической съемки. Первоначально алгоритм был разработан для наземных ландшафтов, и рассчитываемый параметр был назван *Индексом Топографической Позиции (Topographic Position Index* или *TPI*) (Weiss, 2001). В то же время он использовался для картирования морских ландшафтов (Iampietro, Kvitek, 2002; Iampietro et al., 2005). Позднее в морском контексте название было изменено на *BPI* (Lundblad et al., 2006). Суть метода заключается в расчете индекса на основе анализа отметок глубин в заданной окрестности цифровой модели рельефа дна для каждой ячейки растра. Полученные значения характеризуют высотное положение каждой точки на местности относительно окружающего рельефа. Таким образом на дне выделяются возвышенности, депрессии, равнины и склоны различных форм и размеров, которые оказывают непосредственное влияние на распределение абиотических и биологических компонентов ландшафта. Метод так же позволяет дополнительно к *ИБП* рассчитать коэффициент расчлененности рельефа дна (*Ruggedness*), как изменчивость пространственной ориентации ячеек ЦМР в определенной окрестности. Чем ближе значение к единице, тем большей изменчивостью характеризуется рельеф. Сильная расчлененность рельефа дна является одним из индикаторов участков с высоким разнообразием ландшафтов – потенциальных участков «горячих точек», нуждающихся в усиленной защите от антропогенных воздействий (Myers, 1990; Lundblad et al., 2006).

Методы картирования субаквальных ландшафтов с применением индексов *BPI* (*TPI*) в последнее время стали широко применяться за рубежом в различных частях Мирового океана (Iampietro, Kvitek, 2002; Iampietro et al., 2005; Lundblad et al., 2006; Yamanaka et al., 2012; Wright et al., 2012; Clements, Service, 2015 и др.). В

Балтийском море такое картирование было выполнено на архипелаге Кваркен (Kvarken Archipelago) Ботнического залива (Kotilainen et al., 2012). Для российского сектора Балтийского моря подобные работы ранее не проводились.

1.4. История изучения донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

Первая попытка создания первоначальной схемы физико-географического районирования Балтийского моря на основе ландшафтного метода принадлежит сотруднику Калининградского государственного университета В.И. Лымареву (Лымарев, 1983). По характеру рельефа, своеобразию вод и донных осадков, а также истории развития им были выделены 3 морские провинции: Северо-Балтийская, Центрально-Балтийская и Южно-Балтийская. Наибольшая по площади Центрально-Балтийская провинция в свою очередь в качестве примера была разделена на 5 областей: Аландскую, Финскую, Рижскую, Восточно-Центральную и Западно-Центральную. По различиям в проявлении таких ландшафтообразующих факторов как рельеф, климат и сток в областях были обособлены морские районы. Всего в Центрально-Балтийской провинции было выделено 10 районов. По предложенной схеме физико-географического районирования акватория российского сектора юго-восточной части Балтийского моря южнее г. Балтийска относится к Южно-Балтийской провинции, а акватория севернее – к Центрально-Балтийской провинции – Восточно-Центральной области – Юго-Восточному району. В свою очередь В.И. Лымарев в каждом районе выделял глубинные пояса: литоральный (0-5 м), сублиторальный (5-50 м), элиторальный (50-200 м) и псевдоабиссальный (более 200 м). В работе отсутствует обоснование глубин, являющихся границами глубинных поясов. При их выделении не учитываются такие важнейшие для донного биоценоза характеристики, как граница эвфотической зоны и стратификация вод Балтийского моря.

В российском секторе Балтийского моря исследования донных ландшафтов на региональном уровне активно не развивались, поэтому данному вопросу посвящено всего несколько работ. Субаквальными ландшафтами Гданьского бассейна Балтийского моря на качественном уровне занимался сотрудник

Атлантического отделения Института океанологии АН СССР А. И. Блажчишин (Блажчишин, 1992). Обобщив данные о рельефе и осадконакоплении, он составил приблизительную схему распределения донных ландшафтов в восточной части бассейна. В прибрежной зоне (зоне волнового воздействия) им были выделены донные ландшафты полей подвижных песчаных наносов, валунно-глыбовая отмостка, участки ступенчатого рельефа поверхности коренных пород (часто сопряженных с валунно-глыбовой отмосткой), затишные зоны (участки накопления алевритовых илов), конусы выноса техногенного пульпового материала. В переходной зоне — горизонтальные равнины, абразионные и абразионно-аккумулятивные террасы, древнебереговые клифы и уступы, реликтовые аккумулятивные ландшафты, а также отдельные поля затопленных эоловых накоплений и торфянистые ландшафты с небольшим покровом песков. В глубоководной зоне (глубже 60 – 70 м) — ландшафт замедленной седиментации (соотносится с галоклином), глубоководные ландшафты подножья и ложа Гданьской впадины с локальными ландшафтами покмарков («газовых кратеров»). А. И. Блажчишин в своей работе отразил не только особенности геологической среды, но и описал ее взаимосвязь с донными сообществами. Однако при выделении типов ландшафтов основными критериями являлись морфологические особенности рельефа дна и литология, но не были учтены такие важные параметры как физические характеристики придонной водной толщи и освещенность дна. Границы типов ландшафтов были выделены схематично на подводном береговом склоне Самбийского п-ова до изобаты 50 м.

Описанию подводных ландшафтов береговой зоны юго-восточной Балтики и их морфологической структуры посвящена работа Б.М. Балаяна (Балаян, 1992). Опираясь на экспедиционные исследования лаборатории динамики морских берегов Калининградского государственного университета, была составлена примерная схема подводных урочищ и фаций мелководной зоны моря, а так же Куршского и Вислинского заливов. Основными критериями схематического выделения урочищ и фаций являлись морфолитодинамические признаки и своеобразие донного биоценоза. Большое внимание уделено придонной динамике вод, которая рассматривается как основной ландшафтообразующий компонент. В работе так же затрагивается роль инженерно-хозяйственной деятельности в

формировании подводных ландшафтов. Б.М. Балаян в береговой зоне моря выделил 8 элементарных единиц ландшафта: урочища подводных песчаных валов, урочища подводных ложбин размыва, фации глубоководной части подводных выступов, фации мелководной части подводных выступов, полого-наклонные урочища, урочища древнебереговых линий, урочища устьевых областей и техногенные урочища. В заливах были определены 3 типа ландшафта: урочища прибрежных зон зарастания, урочища подводного зарастания и урочища глубоких участков лагун с высокой биологической продуктивностью. Несмотря на то, что в работе достаточно подробно описываются ландшафтообразующие процессы мелководной зоны, основным недостатком является отсутствие четкой классификации при составлении ландшафтной схемы по определенному набору компонентов. Работа не затрагивает глубоководную зону российского сектора юго-восточной части Балтийского моря.

Ландшафтно-зональный подход был так же использован В.И. Лымаревым для описания основ рационального берегопользования Восточной Балтики (Лымарев, 1992). Климатическая зональность рассматривалась в качестве основного фактора, определяющего особенности береговых процессов, которые необходимо учитывать в рациональном береговом природопользовании. Большое внимание в работе уделяется теоретическим основам охраны берегов. Описание ландшафтно-зональных характеристик приводится для литоральной и супралиторальной зон. Сублиторальные ландшафты в работе не рассматривались.

В рамках деятельности международной некоммерческой организации GeoHub в 2012 году был выпущен атлас морских ландшафтов Мирового океана «Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat», где была опубликована мелкомасштабная карта ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря (Ezhova et al., 2012). Целью проекта являлось общее описание донных ландшафтов на региональном уровне в различных районах Мирового океана. Районирование осуществлялось по предложенной в проекте методике, основанной на абиотическом подходе, где по рассчитанным углам уклона рельефа дна вручную были выделены 4 морфологические зоны: Лагунная равнина (Lagoon plain, LP), включает Куршский и Калининградский заливы; Мелководная зона (Shallow water area, SW) выделена в Балтийском море от уреза воды до глубин 20-

50 м; Пологий склон (Gentle slope, GS) – на глубинах 30-90 м; Глубоководная зона (Deep water area, DW) – на глубинах более 90 м (Рисунок 4).

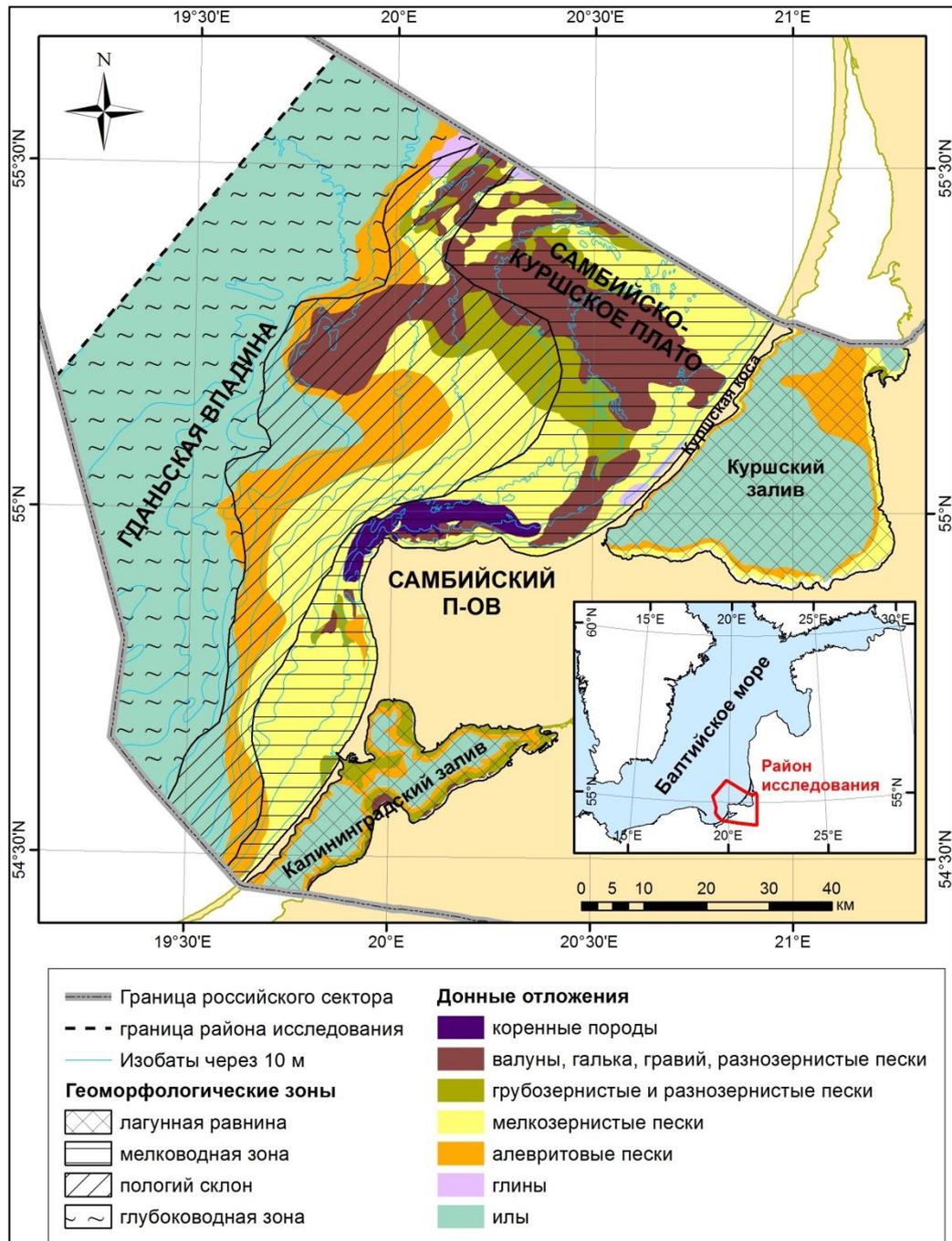


Рисунок 4 – Региональная ландшафтная карта российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

Составлено автором на основе (Ezhova et al., 2012).

По каждому участку приведено описание типов субстрата и видового состава биологических сообществ. Преимуществом данного подхода является

относительно простой и в то же время современный способ (с использованием ГИС технологий) выделения подводных ландшафтов на основе доступных мелкомасштабных батиметрических и литологических карт в совокупности с фото-видеосъемкой и материалами пробоотбора бентосных организмов. Основным недостатком является упрощенный подход, который не учитывает многих важных параметров в мелководной закрытой Балтике. Не принимаются во внимание такие важные компоненты как эвфотическая зона, зона волнового воздействия, распределение температуры, солености и кислорода. Сведения о биологических сообществах приводятся по разобщенным немногочисленным данным, а так же отсутствует анализ связи биоценоза с абиотическими параметрами. Уклон дна является важным параметром, определяющим общее распределение бентосных организмов в океане, но незначительным на региональном уровне для мелководного шельфового Балтийского моря. Представленная в атласе GeoHub обзорная карта являлась лишь первым шагом в типизации ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря.

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Местоположение района исследования и ключевых участков

Район регионального картирования субаквальных ландшафтов расположен в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря в пределах исключительной экономической зоны (ИЭЗ) и территориальных вод Российской Федерации. На юго-востоке он ограничен побережьем Самбийского п-ова, берегами Калининградского (Вислинского) и Куршского заливов, с запада – территориальными водами и ИЭЗ Республики Польша, с северо-востока – территориальными водами и ИЭЗ Литовской Республики, с севера – ИЭЗ Королевства Швеция. Область среднемасштабного картирования включает акваторию моря, Куршского и Калининградского (Вислинского) заливов (Рисунок 5).

Картирование ландшафтов на локальном уровне было выполнено по материалам экспедиционных исследований в пределах российского сектора юго-восточной части Балтийского моря на трех ключевых участках (Рисунок 5). Участок Р1 располагается на подводном береговом склоне северо-западной части Самбийского п-ова в районе м. Таран на глубинах 5-30 м, участок Р2 – на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы на глубинах 5-25 м, участок Р3 охватывает северную часть Гданьско-Готландского порога на глубинах 65-110 м.

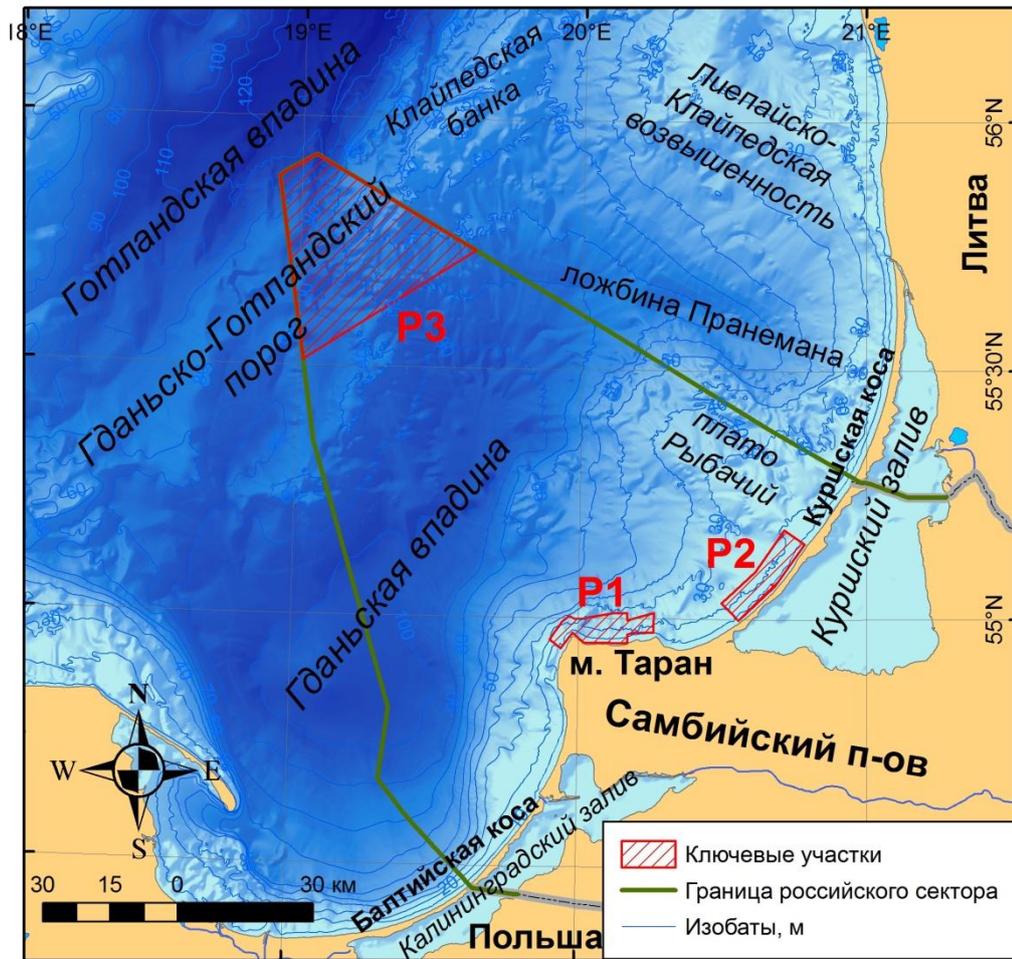


Рисунок 5 – Схема расположения регионального и ключевых участков локального картирования субаквальных ландшафтов

Составлено автором на основе (Gelumbaускаite et al., 1999).

2.2 Материалы и методы составления среднемасштабных карт субаквальных ландшафтов

Методы составления среднемасштабных карт субаквальных ландшафтов российской части юго-восточной Балтики разработаны на основе европейской классификации EUNIS и подходов, предложенных в международном проекте BALANCE. Комбинация двух методов с некоторыми дополнениями позволила наиболее полно отразить абиотические характеристики морского дна, влияющие на распределение донных сообществ, с учетом региональной специфики.

По методике BALANCE экологически значимые участки поверхности дна Балтийского моря идентифицированы с использованием «первичных» параметров

среды, которые оказывают наибольшее влияние на распределение видов донных сообществ (Al-Hamdani, Reker, 2007). В отличие от классификации EUNIS, «первичные» параметры BALANCE наряду с поверхностными осадками и соленостью придонных вод, включают освещенность морского дна. Однако глубина эвфотического слоя определяет границу инфралиторальной зоны при определении вертикальной зональности по EUNIS. Таким образом «первичные» параметры BALANCE по сути согласуются с 4 уровнем EUNIS, но критерии их выделения разработаны с учетом особенностей шельфового Балтийского моря. В данной работе используются 3 «первичных» параметра: вертикальная зональность (по EUNIS), типы субстрата (по BALANCE) и придонная соленость (по BALANCE) (Таблица 1).

Таблица 1 – «Первичные» параметры донных ландшафтов

Компоненты ландшафта	Элементы ландшафта
Вертикальная зональность	Инфралиторальная зона
	Циркалиторальная зона
Тип субстрата	коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
	мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
	пески различной крупности (с проявлениями гравия)
	плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
	илы (в т. ч. сапропелевидные)
Соленость	олигогалинный I (< 5PSU)
	олигогалинный II (5 – 7,5PSU)
	мезогалинный I (7,5 – 11PSU)
	мезогалинный II (11 – 18PSU)

Составлено автором по (Al-Hamdani, Reker, 2007).

При реализации проекта BALANCE «вторичные» параметры, такие как температура воды, воздействие волн, ледовый покров и концентрация кислорода,

так же обсуждались, но не применялись в масштабах Балтики. Первичные абиотические компоненты EUNIS и BALANCE отражают распределение типов ландшафтов для всего Балтийского моря, но не учитывают некоторые важные характеристики на региональном уровне (Сивков и др., 2014). Поэтому для выделения донных ландшафтов юго-восточной части Балтийского моря в работе использовались «вторичные» компоненты: придонная температура (по BALANCE) и ледовый покров (по BALANCE) (Таблица 2).

Таблица 2 – «Вторичные» параметры донных ландшафтов

Компоненты ландшафта	Элементы ландшафта
Придонная температура	верхний изменчивый слой
	холодный промежуточный слой
	глубинный относительно холодный слой
Ледовый покров	0-90 дней в году наличие сезонного ледового покрова
	отсутствие ледового покрова

Составлено автором.

По глубине (вертикальная зональность) согласно EUNIS типы ландшафтов мелководного Балтийского моря разделяются на три зоны: *литоральная* (приливная и волноприбойная зона), *инфралиторальная* (сублитораль в эвфотической зоне) и *циркалиторальная* (сублитораль в афотической зоне) (Рисунок 3). В бесприливном Балтийском море ширина литоральной (волноприбойной) зоны в большей степени зависит от сгонно-нагонных явлений, поэтому занимает узкую полоску берегового склона у уреза воды шириной от нескольких до десятков метров, и не учитывается при мелкомасштабном картировании.

Освещенность дна с экологической точки зрения является одним из главных параметров, влияющих на структуру и численность биологических сообществ в морской среде, поскольку она является движущей силой первичной продукции, обеспечивая энергией процесс фотосинтеза – энергией, которая в конечном счете передается организмам неспособным к фотосинтезу. Глубина

эвфотической зоны для бентосных растений традиционно определяется как глубина, где не менее 1% поверхностного освещения доступно для фотосинтеза. Для выделения донных ландшафтов использовалось два класса освещенности. Они отражают значительную экологическую разницу между мелководьем с подводной растительностью и глубокими водами, где фауна (и бактерии) доминируют по разнообразию видов, численности и биомассе. По освещенности водная толща разделяется на *инфралиторальную* (эвфотическую) зону (где не менее 1% доступного поверхностного освещения достигает поверхности дна) и *циркалиторальную* (афотическую) зону.

Глубина эвфотической зоны определена так же, как и в (Al-Hamdani, Reker, 2007) – по глубине видимости диска Секки, умноженной на коэффициент 1.9. Исходные данные для картирования эвфотического слоя получены в ходе производственного экологического мониторинга морской нефтедобычи, проводимого ООО «ЛУКОЙЛ-Калининградморнефть» (Дубравин, Навроцкая, 2008). Согласно этим данным среднегодовая прозрачность вод в береговой зоне составила 4,5 м, и соответственно, среднегодовая глубина эвфотической зоны составила около 9 м. Для мелководных Куршской и Калининградской лагун использованы данные многолетних (1999 – 2007 гг.) наблюдений (Александров, 2010). Среднегодовое значение прозрачности (за безледный период) в северной части Вислинского залива составило 0.55–0.65 м, а в южной части Куршского залива — 0.5–0.6 м. Соответственно, для картирования субаквальных ландшафтов обеих лагун принята глубина эвфотической зоны — 1 м.

В береговой зоне моря активное воздействие на дно *волн и волновых течений* оказывает существенное влияние на динамику донных отложений и распределение донных сообществ. Распространение взвешенных наносов, а также растворенных в воде загрязнителей полностью определяется закономерностями гидродинамики береговой зоны (Сафьянов, 1978). Значительное волновое воздействие на дно в условиях побережья юго-восточной Балтики происходит в пределах до изобаты 10 м, а в заливах – 1 м (Бабаков, 1998). В море глубже 10 м постоянные течения весьма слабы (в среднем 0-30 см/с) и подвержены значительным изменениям в зависимости от многих факторов (затоки североморских вод, сток вод с суши, ветровая деятельность, конфигурация берегов

и рельеф дна). Течения в заливах на глубинах более 1 м очень нестабильные, они определяются воздействием ветра, речного стока и притока морских вод. Более постоянное влияние на циркуляцию вод в лагунах оказывают рельеф дна и конфигурация береговой линии.

В соответствие с вертикальной зональностью в юго-восточной Балтике выделены два элемента (зоны):

1. Инфралитораль – характеризуется доступностью света и активным волновым воздействием на дно. В море она определена от береговой линии до глубины 9 м, в заливах – от береговой линии до глубины 1 м.
2. Циркалитораль - характеризуется отсутствием света и волнового воздействия. В море она занимает глубины более 9 м, а в заливах – более 1 м.

В качестве батиметрической основы использовалась цифровая модель рельефа дна (ЦМР) центральной части Балтийского моря масштаба 1:500 000 в формате ESRI GRID, полученная в ходе международного проекта GEOBALT (Gelumbaускаite et al., 1999). Береговая линия масштаба 1:75 000 взята из открытого источника данных NOAA (Национальное управление океанических и атмосферных исследований, США) в формате ESRI шейп-файл (<https://shoreline.noaa.gov/data/datasheets/pgs.html>).

С помощью инструмента Spatial_Analyst_Tools–Surface–Contour программы ArcGIS по растровой ЦМР в виде векторного линейного шейп-файла в море была получена изобата 9 м, а в заливах – 1 м. Зона инфралиторали была построена в виде полигональных ГИС-слоев, границами которых является береговая линия и 9 (1) метровая изобата в море и лагунах соответственно. Зона циркулиторали построена в том же полигональном ГИС-слое на остальной части района исследования глубже изобаты 9 (1) м. В атрибутивную таблицу ГИС-слоя каждому полигону было присвоено соответствующее значение вертикальной зоны (Рисунок 6).

Литологический состав поверхностных осадков является одним из основных компонентов донных ландшафтов, так как оказывает значительное влияние на распределение и функционирование донных биологических сообществ. Поскольку в различных странах и научных школах существует большое разнообразие классификаций донных отложений, в рамках BALANCE была

разработана единая схема типов субстрата, которая является более упрощенной, но при этом адаптированной к осадкам Балтийского моря и учитывающей их биологическое значение.

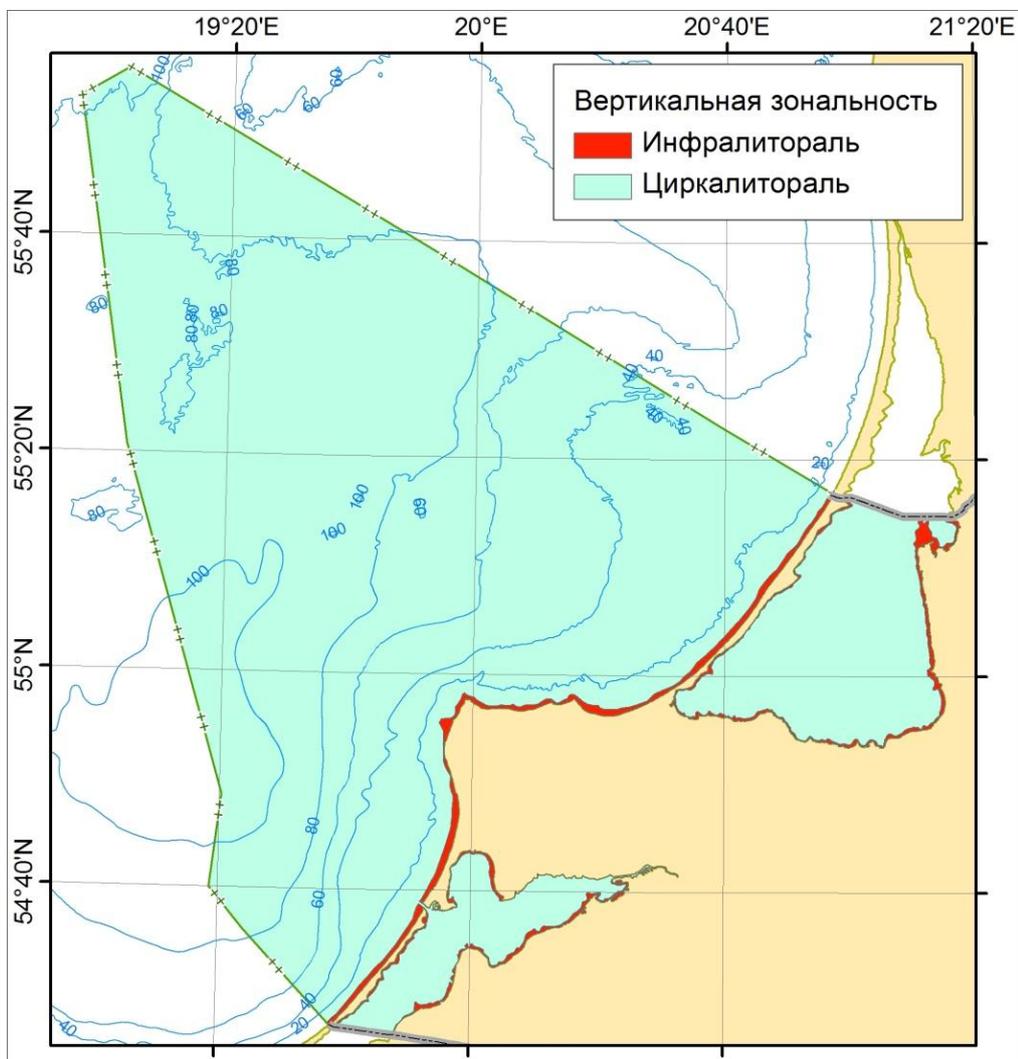


Рисунок 6 – Карта вертикальной зональности российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

Составлено автором на основе (Дубравин, Навроцкая, 2008; Александров, 2010).

Для среднемасштабного картирования ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в масштабе 1:700000 использовалась электронная версия Литологической карты поверхности морского дна опубликованная в Атласе геологических и эколого-геологических карт российского сектора Балтийского моря (Жамойда и др., 2010). Исходные материалы представлены в виде шейп-файлов программы ArcGIS, где каждому полигону

соответствует тип донных отложений в атрибутивной таблице ГИС-слоя. Исходная карта осадков выполнена по классификации литологических карт дна водоемов, разработанной во ВСЕГЕИ (Инструкция по составлению..., 1995). Для сопоставления легенд с помощью инструмента *Merge* в программе ArcGIS некоторые полигоны с различными типами осадков объединялись по разработанной схеме (Таблица 3) в соответствующий тип субстрата по классификации BALANCE или переименовывались в таблице атрибутов. В результате были подготовлены карты субстратов по классификации BALANCE для использования в дальнейших расчетах (Рисунок 7).

Таблица 3 – Схема сопоставления легенд карт по классификации ВСЕГЕИ и BALANCE

№ п/п	Классификация типов субстрата по BALANCE	Классификация для литологических карт дна водоемов (ВСЕГЕИ)
1	Коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)	Локальные выходы коренных пород, валуны, галька, гравий, разнозернистые пески
2	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)	Валуны, галька, гравий
		Пески с гравием и галькой
3	Пески различной крупности (с проявлениями гравия)	Пески различного гранулометрического состава
		Пески грубо-крупнозернистые
		Пески среднезернистые
		Пески мелкозернистые
		Пески алевроглинистые
4	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)	Подводные выходы четвертичных образований

№ п/п	Классификация типов субстрата по BALANCE	Классификация для литологических карт дна водоемов (ВСЕГЕИ)
5	Илы (в т. ч. сапропелевидные)	Алевриты глинистые
		Пелиты
		Пелиты алевритовые

Составлено автором.

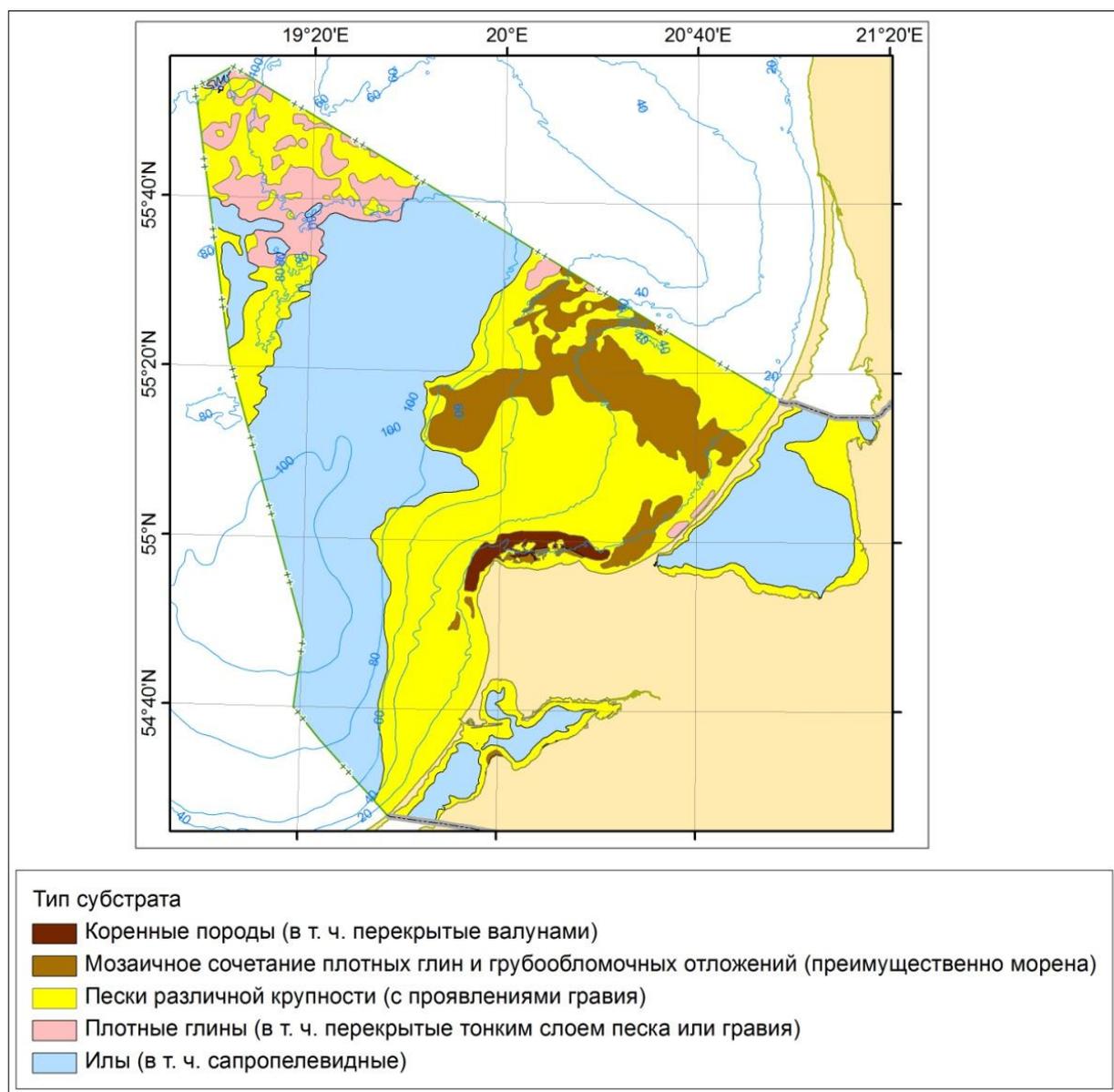


Рисунок 7 – Карта типов субстрата в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря

Составлено автором по (Жамойда и др., 2010).

Соленость морской воды влияет на распределение донных и пелагических видов по всему Балтийскому морю. Соленость воды в придонном слое является одним из основных гидрологических параметров, структурирующих среду обитания и биомассу разных видов живых организмов. В соответствии с BALANCE для района картирования были приняты четыре (из шести) класса среднегодовой солености:

1) олигогалинный I (< 5 PSU) – характеризуется наивысшим содержанием пресноводных видов;

2) олигогалинный II (5 – 7,5 PSU) – соленость 7,5 PSU является границей распространения бурых водорослей *Fucus serratus*. Эта категория так же характеризуется слабым видовым разнообразием и поэтому является наиболее уязвимой частью Балтийского моря;

3) мезогалинный I (7,5 – 11 PSU) – соленость 11 PSU является минимальной, при которой икринки трески имеют плавучесть. Поскольку треска является важным коммерческим видом для Балтийского региона, данный диапазон солености используется для дальнейшего применения карт ландшафтов в пространственном планировании и управлении акваторией. Кроме того, данный параметр косвенно позволяет отделить глубоководную зону от прибрежного мелководья;

4) мезогалинный II (11 – 18 PSU) – соленость 18 PSU является минимальной для размножения большинства морских макроводорослей. Так же этот интервал является стандартным по европейской классификации EUNIS.

Распределение среднегодовой придонной солености в районе исследования получено из работ (Дубравин и др., 2012; Feistel et al., 2008). В результате оцифровки границ распределения средней солености в придонном слое моря был создан полигональный ESRI шейп-файл, где в атрибутивной таблице каждому полигону соответствует значение одного из четырех классов BALANCE (Рисунок 8).

Температура является одним из важных физических параметров, влияющих на морскую жизнь. Среднегодовой температурный цикл в определенном районе относительно стабилен и, по сравнению с наземными, обеспечивает морские организмы предсказуемыми температурными условиями. Температура

влияет на рост, размножение и живучесть организмов и, в конечном счете, общее географическое распространение морских видов.

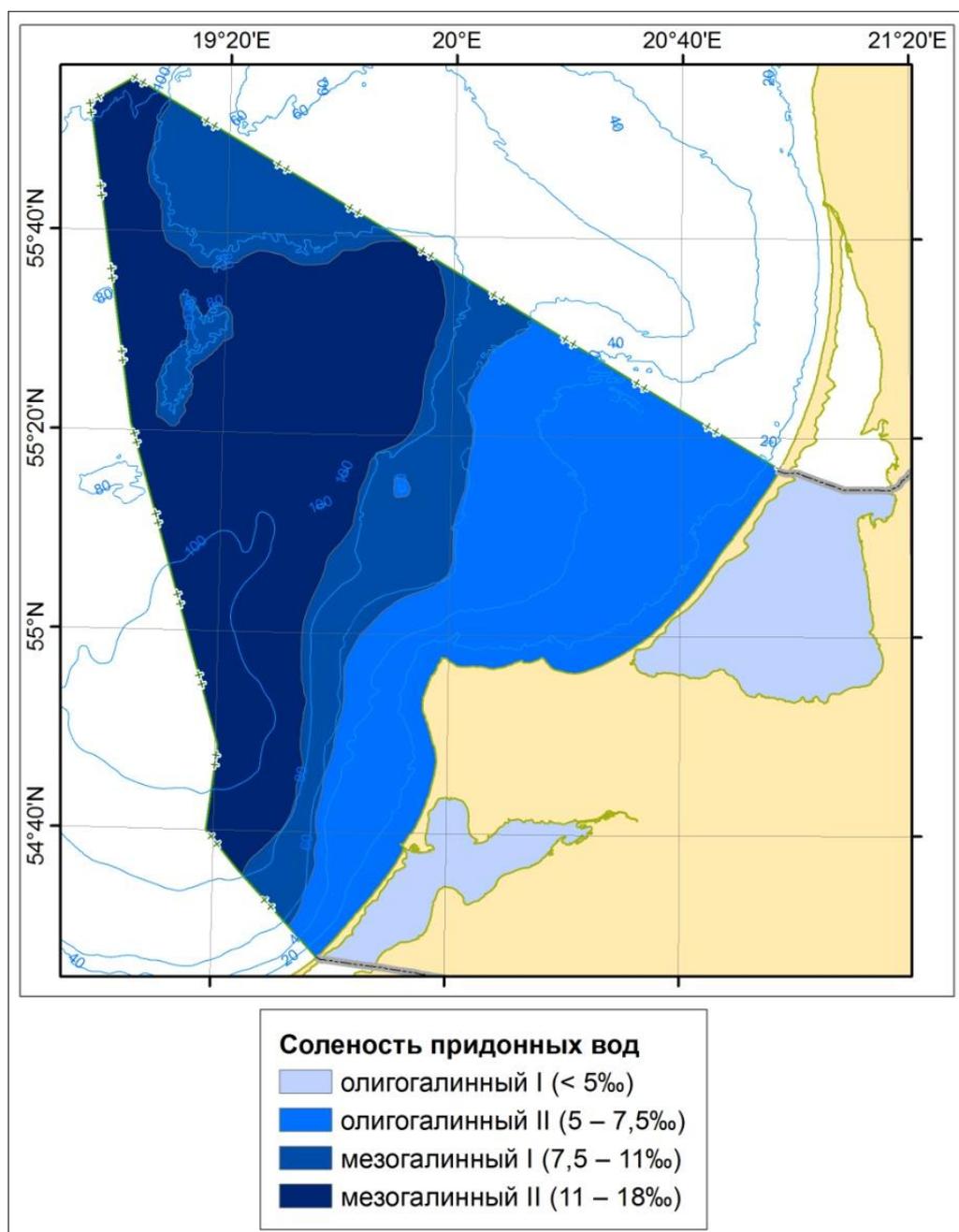


Рисунок 8 – Карта распределения среднегодовой придонной солености в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря
Составлено автором по (Дубравин и др., 2012; Feistel et al., 2008).

Ландшафтный компонент «температура» важен не только как «вторичный» (согласно BALANCE) для оценки влияния на морскую биоту, но так же по причине того, что температура определяет сезонную изменчивость морской экосистемы.

Кроме того, этот параметр необходим для идентификации структуры морских вод района, поскольку принятые в BALANCE элементы среднегодовой солености были выбраны по его влиянию на распределение видов, а не стратификации водоема. Резкий градиент солености (галоклин) в сочетании с температурным градиентом (перманентный термоклин) определяет устойчивую границу, называемую перманентным пикноклином. Эта граница находится между глубинным холодным слоем с высокой соленостью и поверхностным слоем с низкой соленостью. Положение перманентного пикноклина определяется по глубине максимального вертикального градиента плотности.

В летний период прогретые поверхностные воды проникают на глубину за счет ветро-волнового перемешивания и формируют летний верхний квазиоднородный слой (ВКС). Сезонный термоклин, заглубляясь, обостряется, что усиливает препятствие для проникновения вглубь теплых поверхностных вод. В зимний период, напротив, усиление ветро-волнового перемешивания (штормовой период) и термическая вертикальная конвекция, возникающая в результате поверхностного выхолаживания моря, способствуют опусканию холодных поверхностных вод и разрушают термоклин. Формируется зимний ВКС достигающий глубины галоклина. Большая глубина зимнего ВКС по сравнению с летним обуславливает существование летом холодного промежуточного слоя, температура в котором даже ниже, чем в глубинном слое, не подверженном сезонному влиянию.

Стратификация вод Балтийского моря так же определяет содержание *растворенного кислорода* в водной толще – важнейшего параметра для биологических сообществ. Выше галоклина содержание кислорода, как правило, близко к насыщению, а ниже галоклина оно постепенно снижается. В отсутствие мощных притоков соленых вод и вертикального перемешивания в придонных слоях Гданьской впадины периодически возникают анаэробные условия, в некоторых местах с появлением сероводорода. Несмотря на то, что содержание кислорода является важным компонентом субаквального ландшафта, его распределение зависит от стратификации вод, которая уже идентифицируется по параметру «температура». Поэтому вторичный параметр «кислород» при выделении донных ландшафтов не применялся.

В соответствие с вертикальной структурой балтийских вод по температуре выделены три слоя:

1) верхний изменчивый – соответствует деятельному слою моря, в котором хорошо выражена сезонная изменчивость (глубины 0-55 м, температура в течение года изменяется от 2 до 25 °С);

2) холодный промежуточный – соответствует нижней части поверхностной водной массы Балтийского моря (глубины 55–75 м, большую часть года температура находится в пределах 1–4 °С);

3) глубинный относительно холодный – соответствует глубинному слою, где температура повышается по направлению ко дну, что вызвано затоками более теплых вод Северного моря (глубины > 75 м, температура незначительно меняется в зависимости от затоков североморских вод в пределах 4–7 °С).

Распределение придонной температуры, также как и солености, получено из работ (Дубравин и др., 2012; Feistel et al., 2008). По значениям температуры в придонном слое моря был создан полигональный ESRI шейп-файл, где границы зон выделялись по изобатам соответствующих глубин. В атрибутивной таблице ГИС-слоя каждому полигону соответствует одно из трех значений, описывающих структуру балтийских вод (Рисунок 9).

Ледовый покров влияет на прикрепленные к твердому субстрату морские организмы вследствие разрушительного выпаживания дна вблизи поверхности воды. Ледовый покров также оказывает косвенное влияние на биоту посредством затенения доступного для первичной продукции света и ограничения кислородного обмена с атмосферой. В соответствии с BALANCE для района исследования определены две категории:

- 1) 0-90 дней в году наличие сезонного ледового покрова;
- 2) отсутствие ледового покрова.

В мелководных Куршском и Калининградском (Вислинском) заливах толщина льда может достигать более 40 см и ледовое выпаживание торосами может возникать на глубинах до 1 м (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1992). В открытой части юго-восточной Балтики ледовый покров отсутствует.

Полигональный шейп-файл ледового покрова содержит оцифрованные области в лагунах, ограниченные по береговой линии и изобате 1 м (Рисунок 10).

В атрибутивной таблице каждому полигону присвоено значение «наличие сезонного ледового покрова».

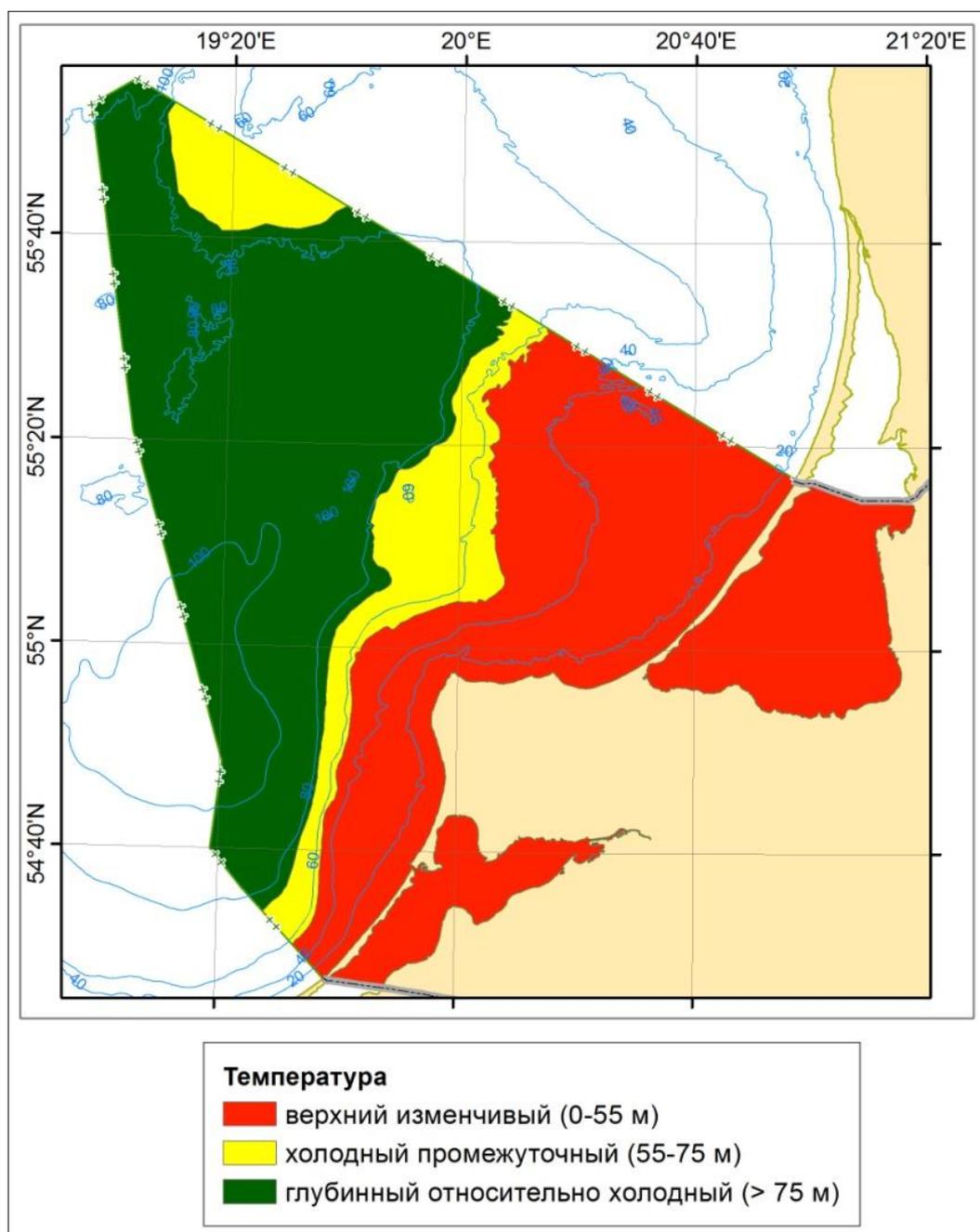


Рисунок 9 – Карта распределения придонной температуры в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря

Составлено автором по (Дубравин и др., 2012; Feistel et al., 2008).

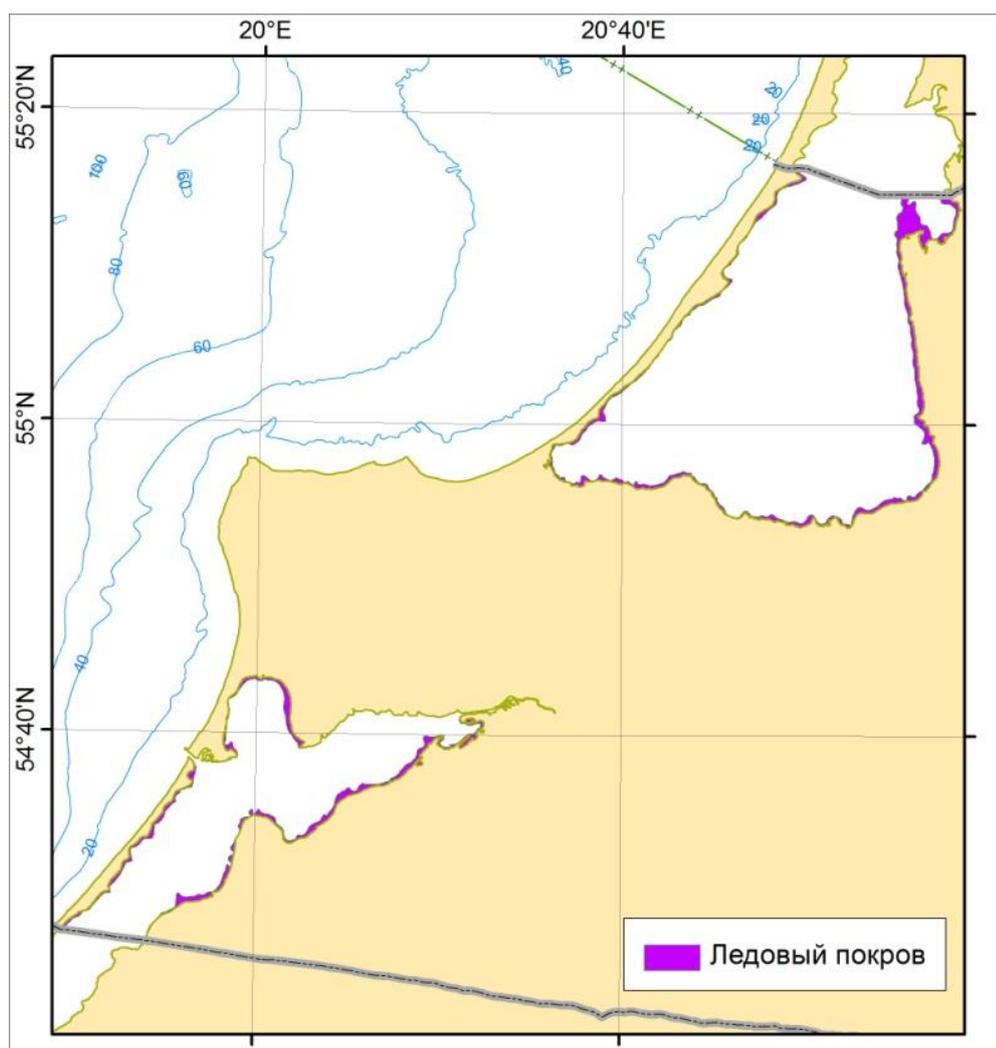


Рисунок 10 – Карта зон воздействия ледового покрова на дно Калининградского (Вислинского) и Куршского заливов

Составлено автором по (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1992).

Карта типов донного ландшафта была построена в программе ArcGIS с использованием описанных выше показателей в виде полигональных векторных шейп-слоев. В результате оверлея (ArcGIS–Union) всех компонентов ландшафта был сформирован производный слой типов ландшафта (Рисунок 11). Он представляет собой композицию исходных пересекающихся полигональных слоев, где каждому новому полигону соответствует уникальное сочетание всех атрибутов исходных. Название типов ландшафтов в полученном шейп-файле формировалось операцией конкатенации (&) всех атрибутов, соответствующих его компонентам.



Рисунок 11 – Модель геообработки для построения карты субаквальных ландшафтов в программе ArcGIS

Составлено автором.

Так же согласно BALANCE (Al-Hamdani, Reker, 2007) важной характеристикой донных ландшафтов является их *изменчивость (показатель сложности)*. Данный параметр отражает количество фрагментов различных донных ландшафтов на единицу площади. Карта изменчивости предоставляет вспомогательную к ландшафтной карте информацию менеджерам по охране окружающей среды о расположении важных областей «горячих точек» с высоким разнообразием биотопов.

По предложенной BALANCE методике в программе ArcGIS была построена карта изменчивости на основе карты донных ландшафтов. Изначально был сгенерирован полигональный ГИС-слой в виде сетки 5x5 км, покрывающий весь район исследования. Применяя функцию оверлея (ArcGIS-Spatial_Join) слоя донных ландшафтов и подготовленной пустой сетки, в атрибутивной таблице каждому квадрату было присвоено значение количества полигональных объектов, попадающих в единичный квадрат.

2.3. Экспедиционные исследования донных ландшафтов на ключевых участках

Критерии выбора и расположение ключевых участков

Микрорельеф дна и типы субстрата на локальном уровне геосистем являются основными абиотическими компонентами ландшафта, определяющими условия распространения донных сообществ. Экспедиционные исследования были направлены на детальное изучение этих основных параметров. Выбор районов исследования в первую очередь обусловлен изменчивостью донных ландшафтов, которая связана с наличием уникальных форм рельефа дна и мозаичностью донных отложений. Комплексные экспедиционные исследования морских донных ландшафтов выполнялись на трех ключевых участках P1-P3, расположенных в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря (Рисунок 5).

Основным критерием выбора *района P1* (Рисунок 5) является наличие затопленных древних береговых уступов, которые фрагментарно обнаруживаются только в южной и юго-восточной части Балтийского моря. Подводный береговой склон Самбийского п-ова является уникальным местом на Балтике, где они достаточно хорошо и в большом количестве сохранились на морском дне. Ранее уступы были схематично выделены (Sivkov et al., 2011), но не проводилось детальных исследований уступов, их морфологических характеристик и влияния на формирование донного ландшафта.

Критерием выбора *района P2* (Рисунок 5) является большая изменчивость донного ландшафта, обусловленная сложным распределением поверхностных осадков и сильной расчлененностью рельефа. Здесь ранее были отмечены уникальные выходы на поверхность дна плотных слоистых отложений реликтовых лагунных илов (Zhamoïda et al., 2009), но детальных исследований донных ландшафтов с помощью площадной геоакустической съемки не проводилось.

Район P3 (Рисунок 5) находится далеко в открытом море (более 100 км от берега), поэтому рельеф дна и донные отложения на нем слабо изучены. Некоторые работы (Sviridov, Emelyanov, 2000; Rudenko, 2002) и экспедиционные исследования АО ИО РАН в 2010 году с помощью однолучевого эхолота свидетельствуют о преобладании холмисто-грядового рельефа неизвестного генезиса с заполнением

некоторых ложбин илистыми отложениями. Слабая изученность, расчлененность рельефа и мозаичность донных отложений стали основными факторами для детального исследования донных ландшафтов на данном участке.

Подводный береговой склон северо-западной части Самбийского п-ова

Район исследования древних береговых уступов располагается на глубинах 5-30 м подводного берегового склона северо-западной части Самбийского п-ова (Рисунок 5, участок P1). Его площадь составляет 112 км². В августе и октябре 2012 г. на маломерных плавсредствах были выполнены экспедиционные исследования АО ИО РАН, которые включали в себя геоакустическую съемку и пробоотбор донных отложений (Рисунок 12).

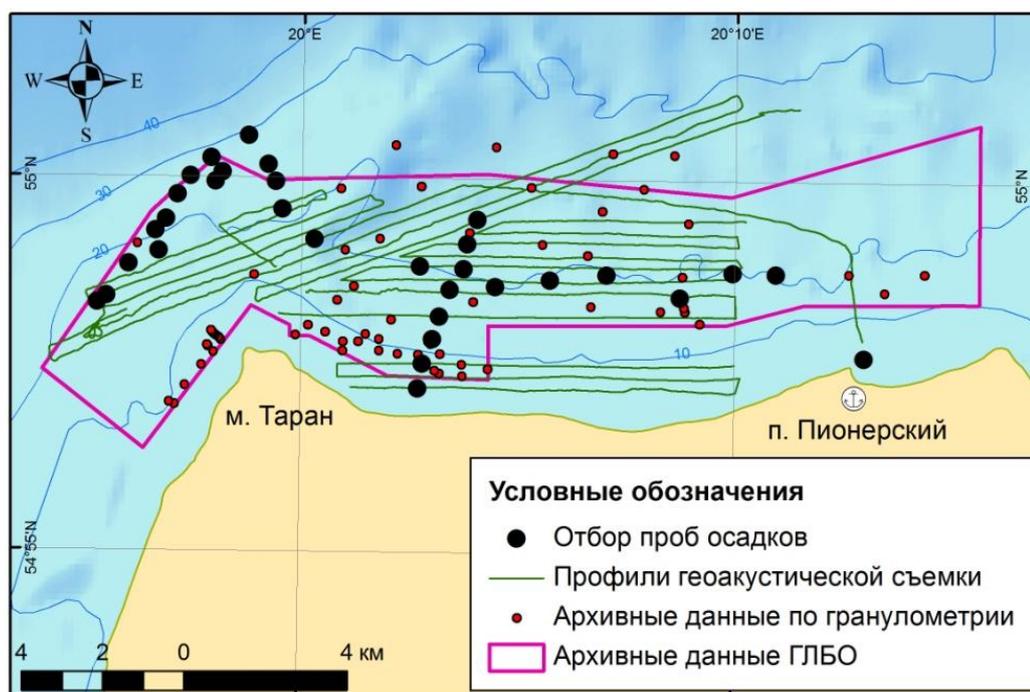


Рисунок 12 – Схема экспедиционных работ и обеспеченности архивными данными на полигоне P1

Составлено автором.

Геоакустические методы использовались для картирования точного положения субаквальных уступов и их морфологических характеристик, а так же выделения границ типов осадков. Однолучевая эхолотная съемка (ОЛЭ) и гидролокация бокового обзора (ГЛБО) выполнялись одновременно на 20

непрерывных параллельных галсах (Рисунок 12) со скоростью 3-5 узлов с использованием гидрографического комплекса на базе двухчастотного эхолота Simrad EA400SP с опцией бокового обзора. В состав комплекса входили узконаправленный двухчастотный эхолот с частотами 38 и 200 кГц и две однонаправленные антенны бокового обзора частотой 200 кГц. Антенны выводились на двух крепящихся к борту штангах (по левому и правому борту). Точность определения глубины на частоте 38 кГц составляла 5 см, и максимальное разрешение сонограммы ГЛБО – около 5 см. Для координатной привязки глубин использовался GPS Trimble 132D в системе координат WGS-84. Результаты промера в режиме реального времени фиксировались в компьютере с использованием гидрографического программного обеспечения Hurack 2011 в проекции UTM-34_зона. Несколько раз в день проводились измерения гидрофизических показателей СТД-зондом YSI 600XLM для расчета профиля скорости звука в воде и автоматического ввода соответствующих поправок глубины. Запись эхолотных данных производилась в формате *.RAW, а данных ГЛБО в формате *.NSX программы Hurack. Максимальная полоса обзора ГЛБО с каждой стороны 150 м, поэтому для получения полного покрытия дна сонарными данными межгалсовое расстояние в среднем составляло около 300 м.

Помимо экспедиционных материалов АО ИО РАН к анализу были привлечены данные ГЛБО, полученные в рамках подводно-археологических экспедиций Музея Мирового океана в 2011-2012 гг., выполненные двухканальным гидролокатором бокового обзора SonarBeam Side Scan Sonar S-150D. Рабочая частота акустической антенны 400 кГц, общая максимальная полоса обзора ГЛБО – 200 м. Запись данных проводилась в собственной программе регистрации в формате *.XTF. Так же в работе использовались сонарные данные ФГУНПП «СЕВМОРГЕО» за 2008 г. и ВСЕГЕИ за 2009-2011 гг., полученные с использованием цифрового двухканального гидролокатора бокового обзора CM-2 (производства C-MAX Ltd.) в формате *.CM2. Район покрытия дна архивными сонограммами отмечен на Рисунок 12.

Для интерпретации данных ГЛБО на 41 судовой станции был выполнен отбор проб поверхностных донных отложений малой ручной драгой (горизонт пробоотбора 0-3 см) на гранулометрический анализ (Рисунок 12). Тип осадка

определялся в АО ИО РАН ситовым методом по классификации Фолка (Folk, 1954). Так же были привлечены архивные данные по типам донных отложений на 82 точках пробоотбора, предоставленные АО ИО РАН, ВСЕГЕИ и ГкуКо «Балтберегозащита» (Рисунок 12, Рисунок 13).

Постобработка данных ГЛБО выполнена с использованием модуля Side Scan Targeting and Mosaicing гидрографической программы Нураск. Данные различных форматов были предварительно преобразованы в формат *.NSX. В записях ГЛБО отфильтрованы выбросы GPS по значениям координат и показаниям курса судна, удалена толща воды и отрегулировано усиление. По обработанным данным выполнено построение мозаики ГЛБО (Рисунок 13) и экспорт в формат GeoTIFF для последующего составления литологической карты в геоинформационной системе (ГИС).

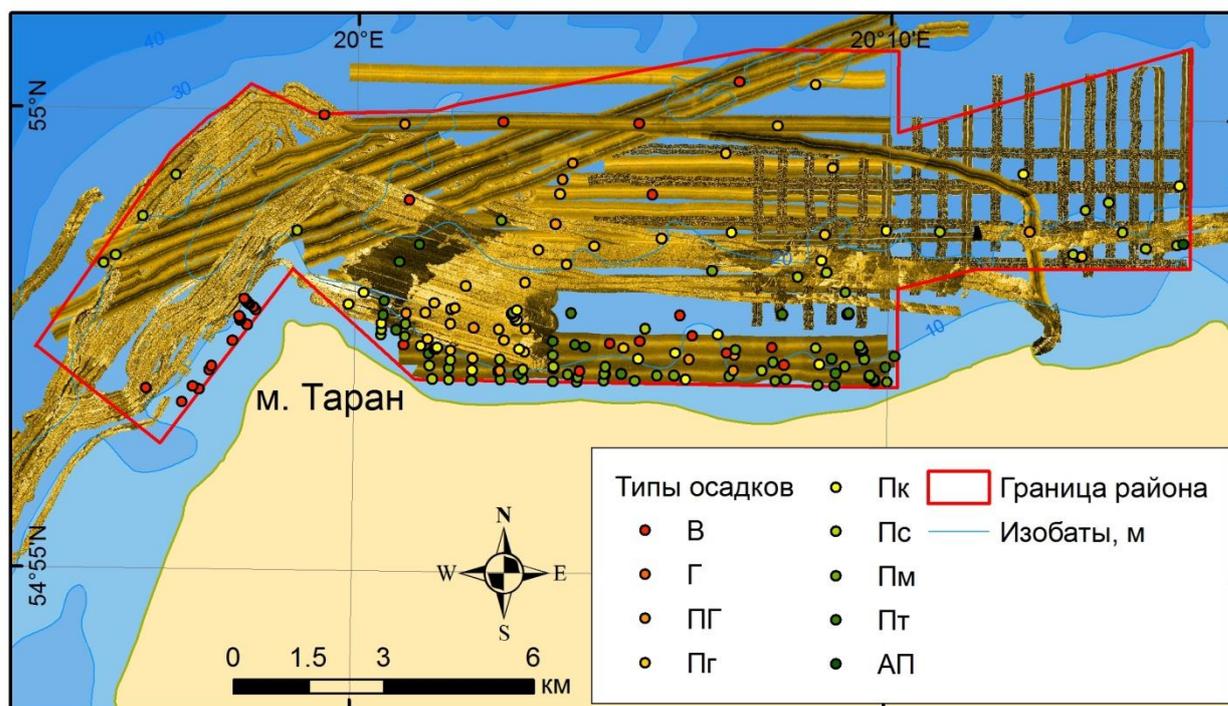


Рисунок 13 – Мозаика ГЛБО и типы осадков по результатам гранулометрического анализа проб на участке P1. Типы осадков: В – валуны; Г – галька, гравий; ПГ – пески с галькой и гравием; Пг – пески грубозернистые; Пк – пески крупнозернистые; Пс – пески среднезернистые; Пм – пески мелкозернистые; Пт – пески тонкозернистые; АП – алевритовые пески

Составлено автором.

Данные эхолотного промера Simrad EA400SP обрабатывались с использованием модуля Single Beam Editor программы Нураск. В процессе постобработки выполнена фильтрация выбросов данных эхолота и GPS, введены поправки на заглубление антенны излучателя и скорость звука. Батиметрические профили (Рисунок 14) использовались для расчета высоты уступов и глубины их нахождения на морском дне. Построенная по материалам промера цифровая модель рельефа дна использовалась в дальнейшем для подробного описания донного ландшафта и расчета индекса ВРІ.

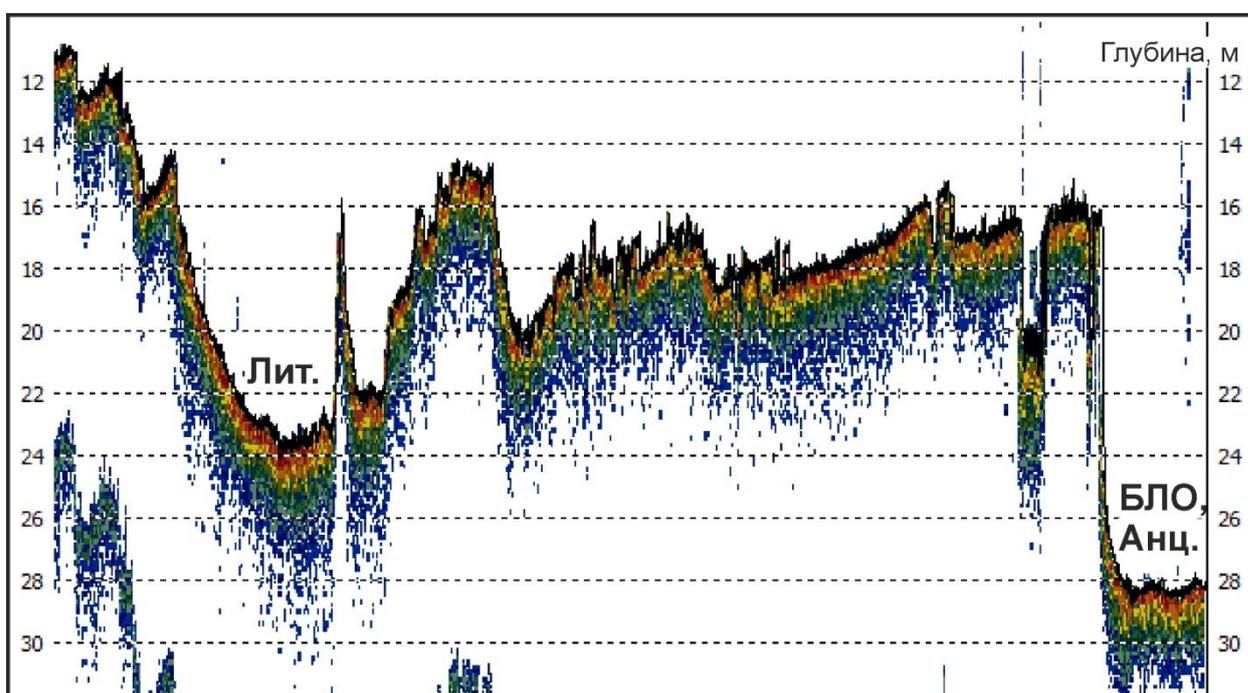


Рисунок 14 – Пример батиметрического профиля древних береговых уступов
Составлено автором.

Положение затопленных древних береговых уступов определялось визуально по мозаике ГЛБО и оцифровывалось в программе ArcMap вручную в виде линейного шейп-файла. Для определения морфометрических характеристик подводных клифов эхолотные профили наносились на электронную карту поверх мозаики ГЛБО. Высота уступа при их наличии определялась как разница глубины у подошвы и бровки уступа. Глубина подошвы уступа определялась только при наличии эхолотных данных. Если на участке отсутствовала батиметрия, высота уступа определялась по его акустической тени на сонограмме ГЛБО средствами

программы Нураск. В процессе оцифровки характеристики каждого уступа заносились в атрибутивную таблицу для последующего анализа и построения карт.

Границы распространения донных отложений определялись визуально по мозаике ГЛБО и заносились в ГИС методом ручной оцифровки (сколки с экрана) в виде полигонального шейп-файла. Тип донных отложений определялся по гранулометрическим данным проб, отобранных в пределах полигонов со схожей интенсивностью рассеивания акустического сигнала. На участках, где отсутствовали сонарные профили, границы осадков проводились с помощью интерполяции точек пробоотбора. Типы осадков заносились в атрибутивную таблицу полигонального шейп-файла для последующего анализа и построения литологической карты.

Подводный береговой склон корневой части Куршской косы

Район исследования реликтовых лагунных илов находится на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы на глубинах 5-25 м (Рисунок 5, участок P2). Его площадь составляет 120 км². В 2013-2014 гг. при поддержке проекта НАТО SfP 984359 «Разработка решений в целях эффективного управления нефтяными разливами в Юго-Восточной Балтике» и 2015 г. при поддержке РФФ 14-37-00047 «Геоэкологические условия морского природопользования в российском секторе Юго-Восточной Балтики» в районе P2 были выполнены геолого-геофизические работы с использованием маломерных плавсредств (Рисунок 15).

Геоакустические исследования выполнялись в октябре 2013 г. и июле 2015 г. с использованием буксируемого интерферометрического гидролокатора бокового обзора (ИГЛБО) Benthos C3D (фирмы Teledyne Technologies), который позволяет одновременно получать сонограмму гидролокации бокового обзора и многолучевую батиметрию высокого разрешения. Постоянная частота Benthos C3D составляет 200 кГц, максимальное разрешение сонограммы ГЛБО – 4,5 см, а максимальное разрешение площадной батиметрии – 5,5 см. Широкая полоса обзора ГЛБО до 20 глубин (батиметрии до 12 глубин) при работе на мелководье глубиной 5-30 м позволила значительно уменьшить количество галсов и сократить расходы на выполнение съемки. Для координатной привязки глубин использовался GPS

Trimble SPS461 в системе координат WGS-84. Регистрация данных осуществлялась в программе Нураск в проекции UTM-34_зона. Первичные данные сохранялись в формате *.HSX.

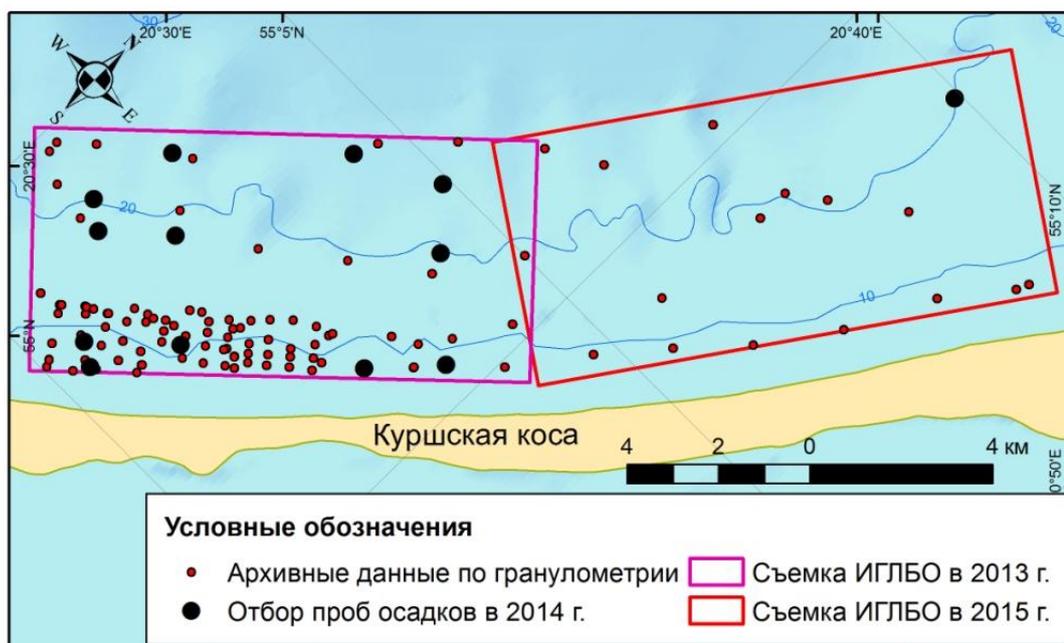


Рисунок 15 – Схема экспедиционных работ и обеспеченности архивными данными на полигоне Р2

Составлено автором.

Геоакустическая съемка в 2013 г. проводилась в юго-западной части района исследования площадью 59 км² (Рисунок 15). Было пройдено 26 галсов общей протяженностью 300 км. Расстояние между галсами составляло 200 м при постоянной полосе обзора ГЛБО 300 м. Таким образом, было обеспечено 150% покрытие дна данными ГЛБО. Полоса обзора многолучевой съемки составляла 100 м, соответственно покрытие дна батиметрическими данными – около 50 %.

В 2015 г. съемка выполнялась в северо-восточной части района исследования площадью 63 км² (Рисунок 15). Было пройдено 20 галсов общей протяженностью 230 км. В целях экономии судового времени расстояние между галсами на глубинах 5-15 м составляло 200 м и на глубинах более 15 м – 300 м. Таким образом было обеспечено 100% покрытие дна данными ГЛБО. Многолучевая съемка по техническим причинам не выполнялась.

Для интерпретации данных ГЛБО в мае 2014 г. на 13 судовых станциях (Рисунок 15) был выполнен отбор проб поверхностных донных отложений малой ручной драгой с последующим определением в АО ИО РАН типа осадков по классификации Фолка. В работе так же были использованы архивные данные по типам донных отложений на 109 точках пробоотбора, предоставленные АО ИО РАН, ВСЕГЕИ и ГкуКо «Балтберегозащита» (Рисунок 15).

Постобработка данных ГЛБО выполнялась таким же образом, как описано выше на полигоне Р1. В результате камеральных работ была получена мозаика ГЛБО на северном и южном участках района исследования (Рисунок 16, Рисунок 17). Дополнительно к приведенному выше методу, применялась автоматическая классификация донных отложений по сонограммам с использованием модуля GEOCODER программы Нураск 2014. Типы осадков определялись при автоматическом сопоставлении графиков интенсивности обратного рассеивания на сонограмме с эталонными акустическими записями типов осадков по классификации Фолка. В результате расчетов создавался текстовый файл значений типов донных отложений в виде сетки 50x50 м. Текстовый файл конвертировался в точечное покрытие ArcGIS и совмещался с мозаикой ГЛБО для дальнейшей оцифровки осадков (Рисунок 18).

Автоматическая классификация донных отложений показала хороший результат на участках с ровным дном и малой изменчивостью осадков, где наблюдалась хорошая сходимость с результатами гранулометрического анализа проб донных отложений. Оцифровка осадков по данным GEOCODER использовалась там, где смена осадков происходит постепенно и их границы не определяются четко по сонарному изображению. Однако на «сложном дне» с мозаичным распределением донных отложений и изменчивым рельефом дна типы донных отложений не всегда рассчитывались корректно и, как правило, не совпадали с результатами гранулометрического анализа проб. На таких участках результаты автоматической классификации игнорировались. В тех местах, где отсутствовали данные гранулометрии, типы осадков определялись по GEOCODER и схожим интерпретированным изображениям ГЛБО.

Первичные данные площадной батиметрии Benthos C3D обрабатывались с помощью модуля HYSWEEP программы Нураск 2014. Автоматическая фильтрация

применялась для удаления данных на краевых лучах и выбросов за пределами диапазона глубин района. По каждому галсу в 3D режиме был выполнен визуальный контроль данных и дополнительная фильтрация вручную. Обработанные батиметрические данные в программе HYSWEEP усреднялись и в виде сетки с размером ячейки 50 м сохранялись в текстовом формате. Итоговая цифровая модель рельефа дна была получена в программе ArcGIS с использованием триангуляции и интерполяции исходных данных для моделирования поверхности участков дна непокрытых многолучевой эхолотной съемкой. Полученная ЦМР использовалась в дальнейшем для подробного описания донного ландшафта и расчета индекса BPI.

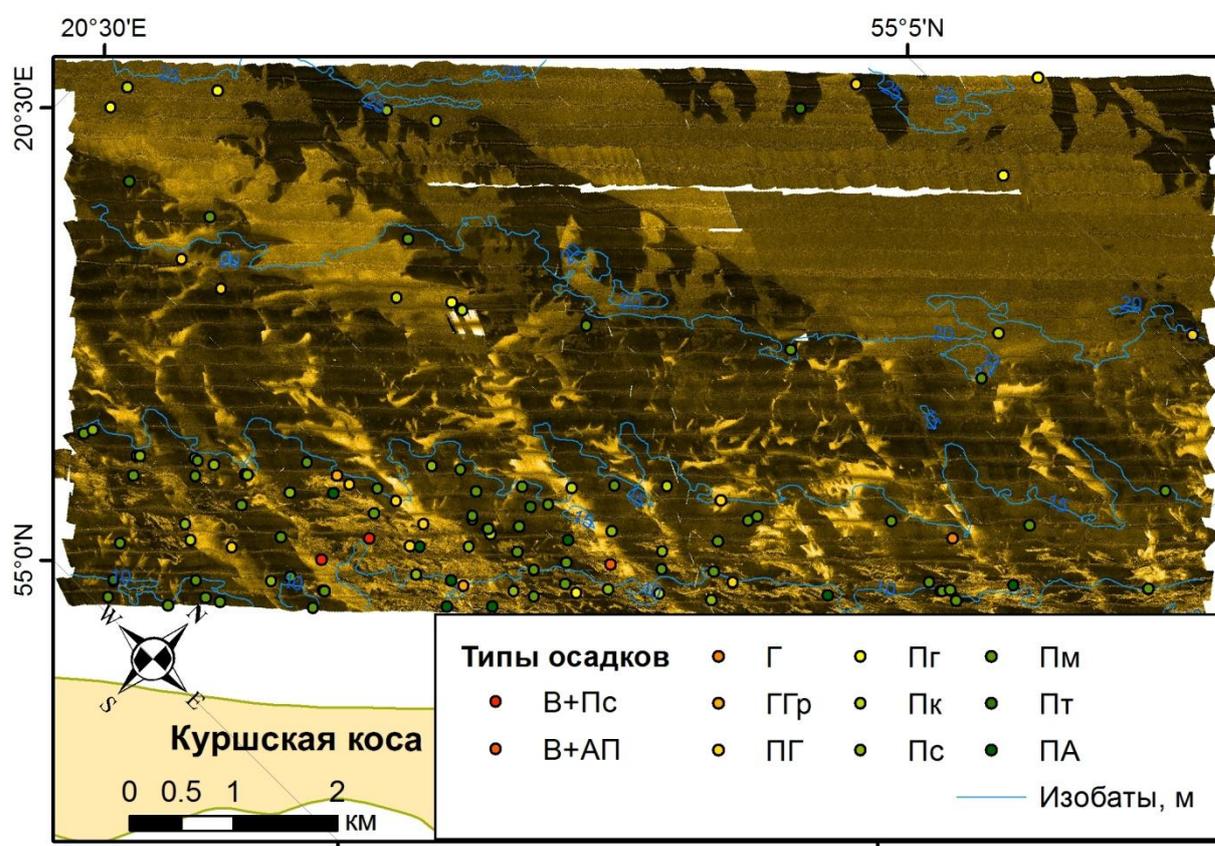


Рисунок 16 – Мозаика ГЛБО и типы осадков по результатам гранулометрического анализа проб на участке P2, выполненные в 2013-2014 гг. Типы осадков: В+Пс – пески среднезернистые с валунами; В+АП – алевритовые пески с валунами; Г – галька; ГГр – галька, гравий; ПГ – пески с галькой и гравием; Пг – пески грубозернистые; Пк – пески крупнозернистые; Пс – пески среднезернистые; Пм – пески мелкозернистые; Пт – пески тонкозернистые; ПА – песчаные алевриты

Составлено автором.

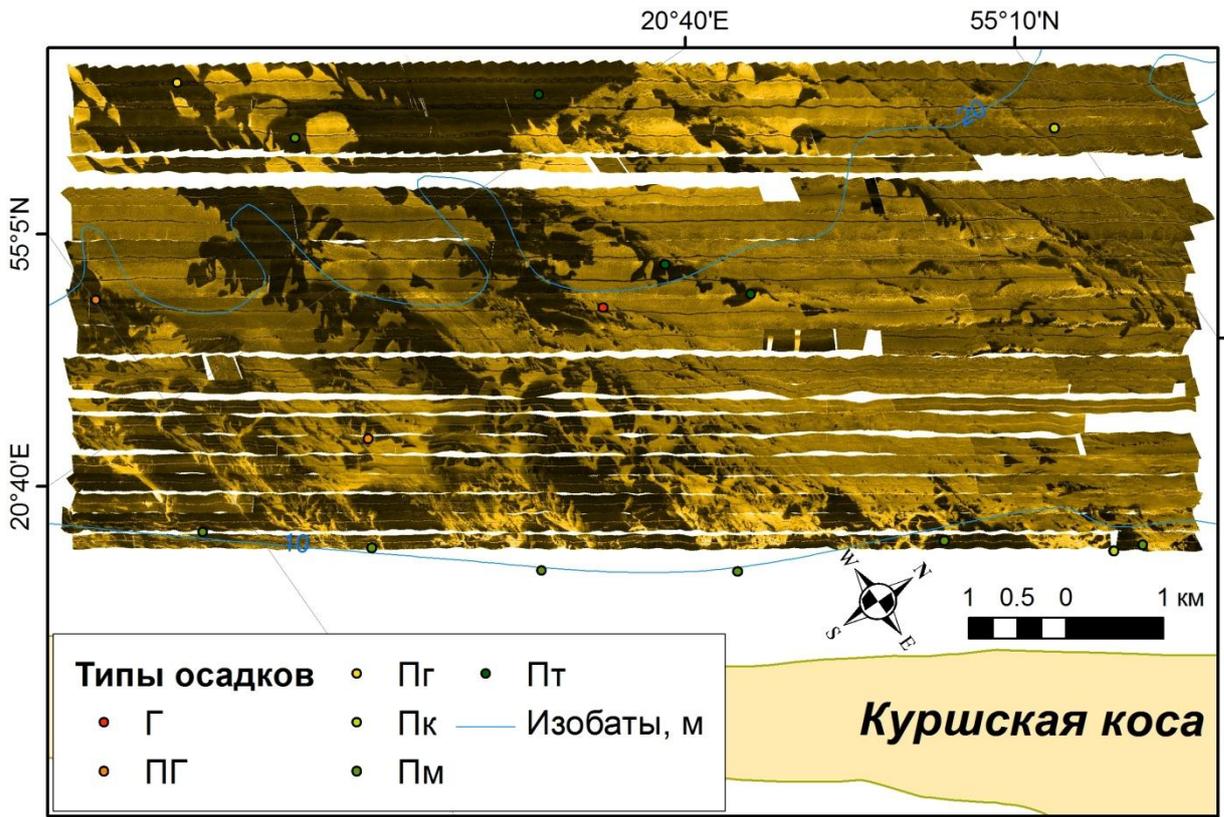


Рисунок 17 – Мозаика ГЛБО и типы осадков по результатам гранулометрического анализа проб на участке Р2, выполненные в 2015 г. Типы осадков: Г – галька, гравий; ПГ – пески с галькой и гравием; Пг – пески грубозернистые; Пк – пески крупнозернистые; Пм – пески мелкозернистые; Пт – пески тонкозернистые

Составлено автором.

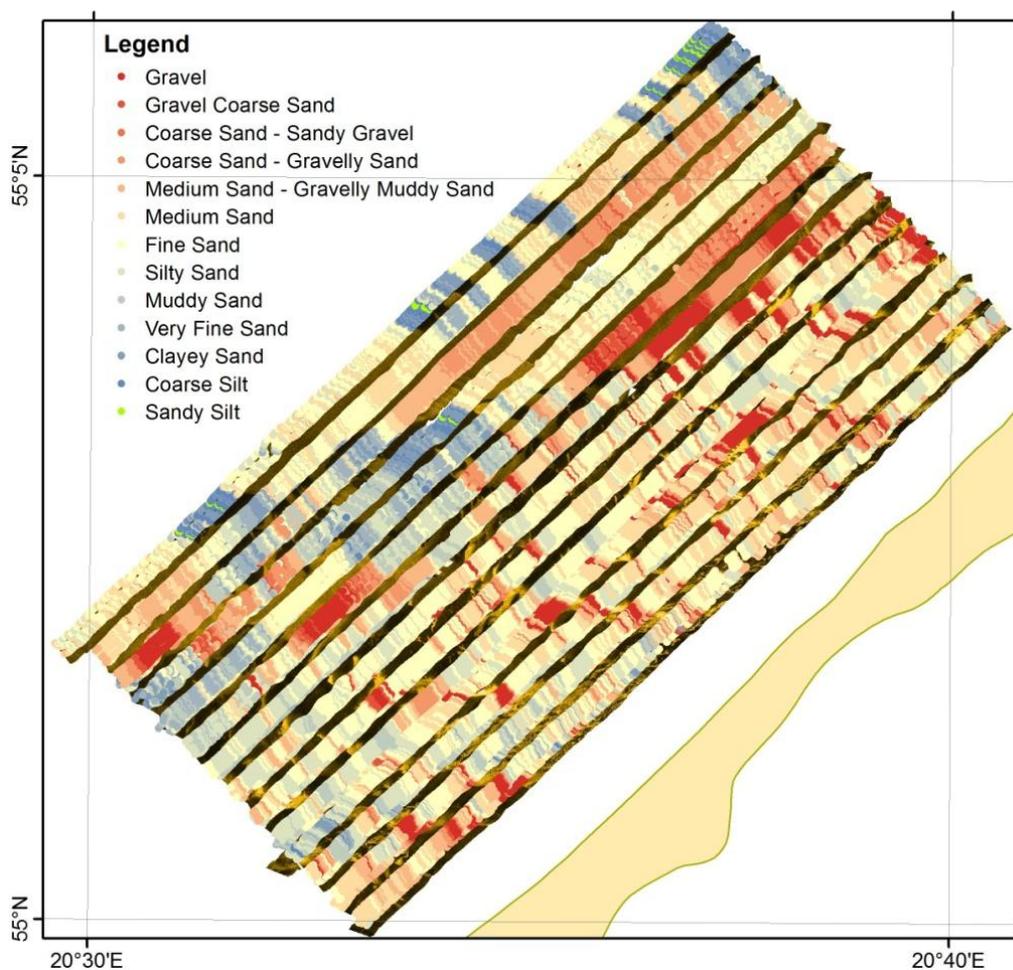


Рисунок 18 – Результаты автоматической классификации донных отложений на участке P2 утилитой GEOCODER по данным ГЛБО

Составлено автором.

Северная часть Гданьско-Готландского порога

Район исследования охватывает северную часть Гданьско-Готландского порога на глубинах 65-110 м (Рисунок 5, *участок P3*) площадью 1024 км². Геолого-геофизические работы выполнялись при поддержке проекта РНФ 14-37-00047 в 64 рейсе НИС «Академик Мстислав Келдыш» в 2015 г., в 131-133 рейсах НИС «Профессор Штокман» и 33 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в 2016 г. (Рисунок 19).

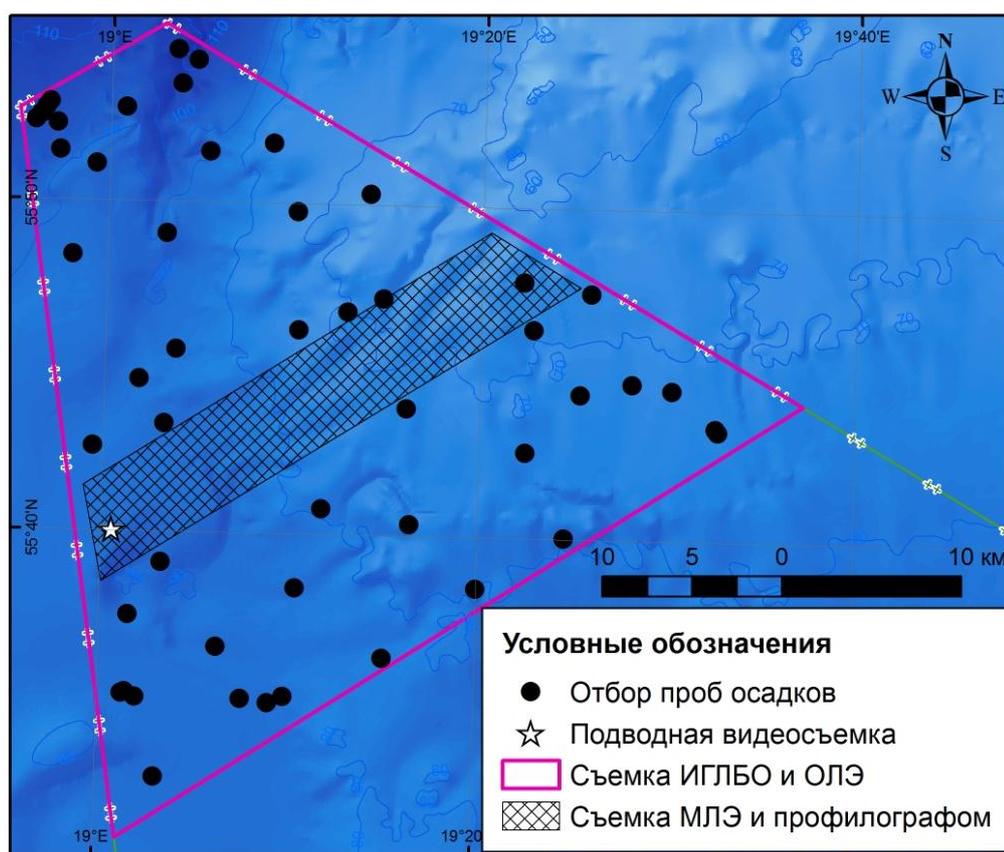


Рисунок 19 – Схема экспедиционных работ на полигоне Р3

Составлено автором.

Геоакустические исследования НИС «Академик Мстислав Келдыш» проводились с использованием ИГЛБО Venthos C3D, а на НИС «Профессор Штокман» дополнительно был задействован однолучевой эхолот Simrad EA400SP. Съёмка НИС «Академик Николай Страхов» выполнялась с помощью штатного оборудования: многолучевого эхолота RESON-AS Seabat 8111 и непараметрического профилографа EdgeTech 3300.

Основные характеристики ИГЛБО Venthos C3D приведены выше в описании работ на полигоне Р2. Полоса обзора при съёмке составляла 600 м, межгалсовое расстояние – 500 м. Таким образом обеспечивалось 120% покрытие дна сонарными данными. Площадь покрытия составила 1024 км². Батиметрические данные ИГЛБО обеспечивали покрытие дна менее 50% и в работе не использовались.

Характеристики однолучевого эхолота Simrad EA400SP приведены выше в описании работ на полигоне Р1. Излучатель эхолота без опциональных антенн ГЛБО выводился на поворотной штанге за борт НИС «Профессор Штокман».

Хорошая проникающая способность эхолота на частоте 38 кГц позволяла использовать его как акустический донный профилограф. На частоте 200 кГц эхолот использовался для получения точного батиметрического профиля. Для улучшения качества данных применялся датчик качки SMC IMU-108. Минимум один раз в день измерялся и вводился в программу регистрации эхолота профиль скорости звука, измеренный с помощью зонда Valeport miniSVP.

Многолучевая батиметрическая съемка эхолотом Reson Seabat 8111 выполнялась на участке площадью 151 км² (Рисунок 19). Рабочая частота эхолота – 100 кГц, число лучей – 101, ширина лучей – 1,5⁰, полоса охвата – 150⁰, разрешение по дальности – 3,7 см. Полное покрытие дна данными МЛЭ обеспечивалось при межгалсовом расстоянии 250 м и шириной обзора 300 м. Географическая привязка и стабилизация качки осуществлялись системой Applanix POS MV. Профиль скорости звука измерялся ежедневно с помощью гидрологического зонда CTD-90 и заносился в программу регистрации данных PDS-2000. Первичные данные записывались в формате *.PDS.

Одновременно с многолучевой съемкой выполнялась запись акустической структуры донных отложений с помощью штатного непараметрического судового профилографа EdgeTech 3300. Профилограф работал на частотах 2–8 kHz, длина импульса составляла 100 мсек, частота посылы 0,5-1 Hz. Управление прибором и регистрация данных осуществлялись в программном обеспечении EdgeTech Discover Sub-Bottom 3.52. Данные сохранялись в формате производителя - *.JSF, а также в обменном формате SEG-Y.

По окончании геоакустических работ в каждом рейсе выполнялось предварительное построение мозаики ГЛБО, на основе которой прицельно отбирались пробы осадков для последующей интерпретации сонограмм (Рисунок 19). Пробы грунта отбирались с поверхностного горизонта 0-5 см с использованием дночерпателя «Ван-Вина» площадью захвата 0,1 м² и «Океан-50» площадью захвата 0,25 м². Типы осадков по их гранулометрическому составу определялись в АО ИО РАН по классификации Фолка (Рисунок 20).

В 133 рейсе НИС «Профессор Штокман» в районе обнаруженного затонувшего судна на глубине 92 м была выполнена подводная видеосъемка дна с помощью телеуправляемого подводного аппарата (ТПА) СуперГНОМ. Аппарат

оснащен двумя вращающимися видеокамерами Sony Super HAD 2 CCD (передняя и задняя), гидролокатором кругового обзора (ГКО) Tritech Micron и одностепенным манипулятором. Цифровая запись видеосъемки дна выполнялась в режиме реального времени в формате *.AVI на жесткий диск управляющего компьютера.

Камеральная обработка данных ГЛБО выполнялась аналогичными методами, описанными выше на полигоне Р2. Литологическая карта составлялась по методике, описанной для района Р2, на основе мозаики ГЛБО (Рисунок 20). На участке, где была выполнена съемка МЛЭ (Рисунок 19), для выделения илистых отложений в многочисленных бороздах дополнительно применялась автоматическая классификация раstra мозаики ГЛБО в программе ArcGIS (ClassifyRaster). Предварительно создавался входной файл определения классификатора Esri (*.ecd), содержащий сопоставление характерных зон мозаики ГЛБО типичных для илистых и грубообломочных отложений соответствующим литологическим классам. Полученный полигональный слой, содержащий границы распространения илистых отложений, объединялся с литологической картой всего района исследования.

Многолучевые эхолотные данные Reson Seabat 8111 обрабатывались в программе PDS-2000. Камеральная обработка включала в себя калибровку эхолота, автоматическую и ручную фильтрацию данных, построение регулярной сетки глубин с шагом 1 м и ее экспорт в текстовый обменный формат ESRI ASCII. Полученная ЦМР загружалась в программу ArcGIS для дальнейшего морфологического анализа и описания форм микрорельефа, а так же расчета индекса ВРІ.

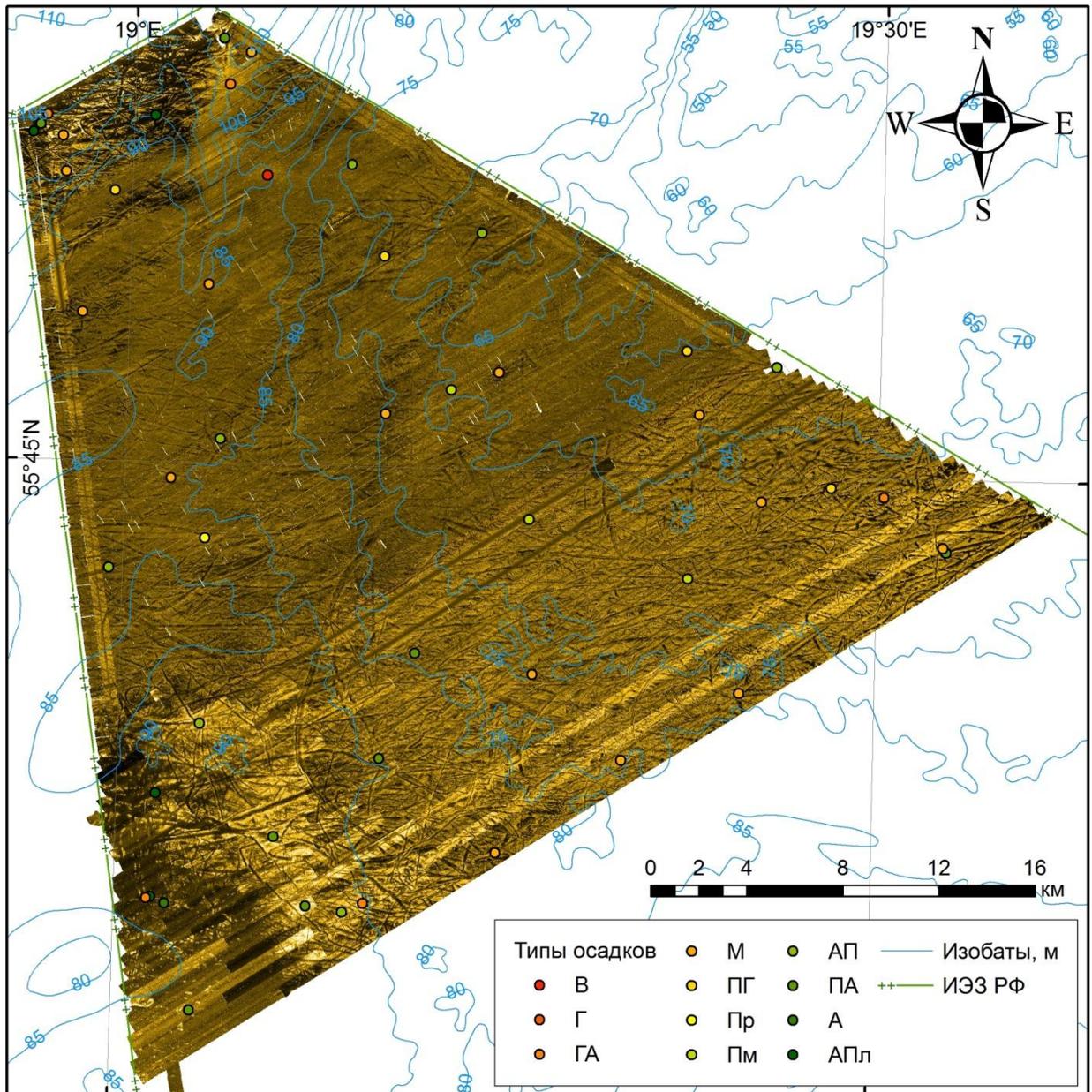


Рисунок 20 – Мозаика ГЛБО и типы осадков по результатам гранулометрического анализа проб на участке РЗ. Типы осадков: В – валуны; Г – галька, гравий; ГА – гравийно-галечные алевриты; М – миктиты (галька, песок, алевропелиты); ПГ – пески с галькой и гравием; Пр – пески разнозернистые; Пм – пески мелкозернистые; АП – алевритовые пески; ПА – песчаные алевриты; А – алевриты; АПл – алевропелиты

Составлено автором.

2.4. Методы крупномасштабного картографирования донных ландшафтов ключевых участков

Карты донных ландшафтов на трех ключевых участках были составлены на основе метода выделения мезо- и микроформ рельефа субаквальных ландшафтов по результатам расчета *индекса батиметрической позиции* (от англ. – *Bathymetric Position Index, BPI*) (Lundblad et al., 2006). Для вычисления BPI использовался ГИС-инструмент в программе ArcGIS под названием Benthic Terrain Modeler (BTM) (Rinehart et al., 2004). Индекс BPI рассчитывался по цифровым моделям рельефа (ЦМР) в виде регулярной сетки ячеек со значениями глубин, полученных в результате многолучевой или однолучевой эхолотной съемки. Параметр является производной второго порядка батиметрической поверхности, которая определяет высотное положение точки на местности по отношению к заданной области рельефа дна. Алгоритм расчета BPI заключался в вычислении разности значения высоты каждой ячейки исходного растра и средней высоты соседних ячеек в одной из форм окрестности, которая задавалась в виде окружности или кольца (Рисунок 21):

$$BPI[scalefactor] = \text{int} \left(\left(\text{bathy} - \text{focalmean}(\text{bathy}, \text{annulus}, \text{irad}, \text{orad}) \right) + 0.5 \right), \quad (1)$$

где *scalefactor* – масштабный коэффициент, равный произведению внешнего радиуса, измеряемого в количестве ячеек растра, и разрешения ЦМР в единицах карты; *bathy* – растровая батиметрическая поверхность (ЦМР); *focalmean* – функция вычисления среднего значения в окрестности; *annulus* (или *circle*) – кольцо (или окружность); *irad* – внутренний радиус кольца и *orad* – внешний радиус кольца, измеряемые в количестве ячеек растра.

Новый растр создавался с таким же как у исходной ЦМР размером ячейки, которым присваивалось соответствующее значение BPI. Отрицательные значения характеризуют депрессии (ячейка ниже, чем ее соседние), а положительные значения – возвышенности (ячейка выше, чем ее соседние). Значения близкие к нулевым характерны для пологих уклонов или плоских областей (Рисунок 22). Чем больше отклонение значения BPI от нуля, тем ярче выражена форма рельефа от дна депрессий (BPI_{\min}) до гребней возвышенностей (BPI_{\max}) (Рисунок 23).

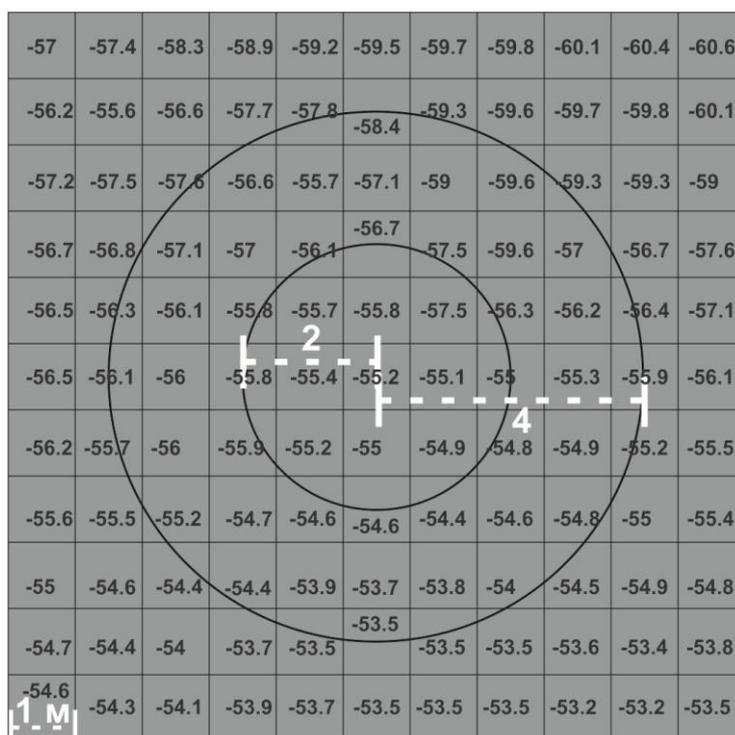


Рисунок 21 – Пример использования переменных для расчета индекса ВРІ по растру батиметрической поверхности. Показанная в примере поверхность имеет размер ячейки (пространственное разрешение ЦМР) 1 м и представлена отрицательными значениями. Окрестность вычисляемых значений имеет форму кольца с внешним радиусом 4 ячейки и внутренним – 2 ячейки. В данном примере масштабный коэффициент равен 4 м

Источник: (Lundblad et al., 2006).

Результаты вычислений зависят не только от характеристик рельефа, но и от разрешения исходной ЦМР и масштабного коэффициента индекса ВРІ. Чем выше разрешение ЦМР (меньше размер ячейки), тем мельче элементы рельефа могут быть выделены. Масштабный коэффициент влияет на размеры выделяемых форм рельефа в масштабе батиметрической съемки. При выделении крупных элементов рельефа в пределах района исследования (протяженных депрессий и возвышенностей) устанавливался большой радиус анализа во избежание «шумов» от мелких форм. Таким образом рассчитывался *Индекс Батиметрической Позиции Крупных Форм* (от англ. – *Broad Scale BPI* или *B-BPI*) с относительно большим масштабным коэффициентом. Для расчета В-ВРІ выбиралась форма окрестности в виде кольца для уменьшения влияния ближайших ячеек на результат вычисления положения точки в широкой области. Мелкие формы рельефа (узкие

депрессии, воронки, холмы, гряды и т.п.) выделялись в окрестности малого размера, соизмеримого с выделяемыми элементами рельефа. Для этого рассчитывался *Индекс Батиметрической Позиции Мелких Форм* (от англ. – *Fine Scale BPI* или *F-BPI*) с относительно малым масштабным коэффициентом. Поскольку внешний радиус имеет малый размер, то расчет F-BPI выполнялся с использованием круговой формы окрестности. По исходной ЦМР с использованием программы ArcGIS измерялись средние размеры крупных и мелких форм рельефа для определения на каждом ключевом участке оптимальных радиусов окрестности B-BPI (Таблица 4) и F-BPI (Таблица 5).

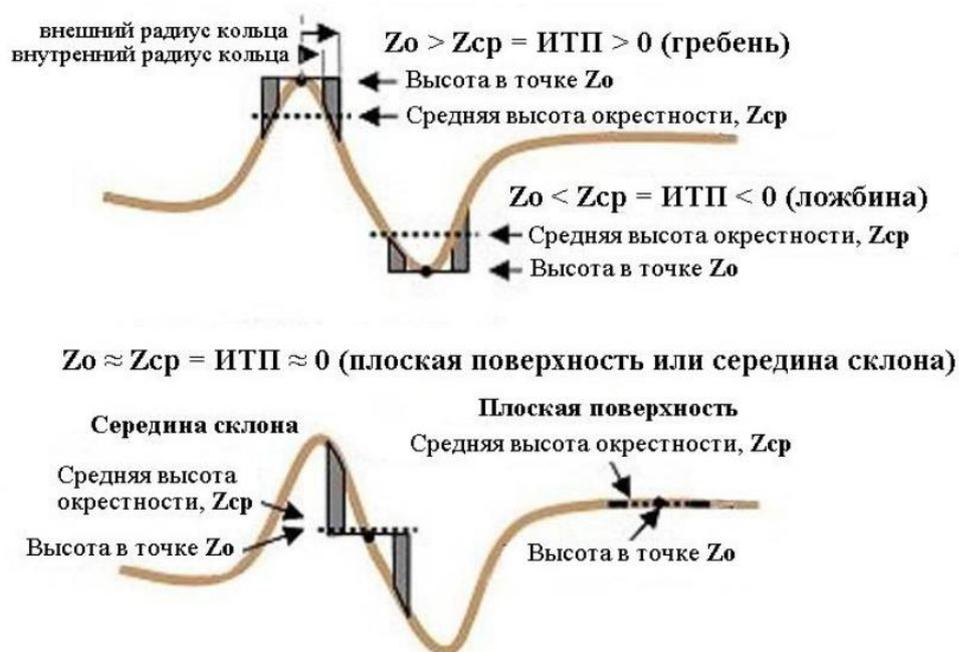


Рисунок 22 – Общий принцип выделения форм рельефа на профиле по индексу

BPI, вычисленному с использованием окрестности в виде кольца

Источник: (Weiss, 2001).

На полигоне P1 расстояние между вершинами наиболее выраженных крупных положительных форм, вытянутых с юго-запада на северо-восток, в среднем составляет 3000 м, поэтому значение масштабного коэффициента B-BPI составило 3000 м, а значение длины внешнего радиуса кольца – 60 ячеек при разрешении ЦМР 50 м. Масштабный коэффициент F-BPI определялся согласно размеру гряд, ширина которых в среднем равна 500 м.



Рисунок 23 – Принцип разбиения значений *BPI* по положению в рельефе
 Источник: (Weiss, 2001).

Таблица 4 – Параметры, использованные для вычисления значений индекса батиметрической позиции крупных форм (В-*BPI*) на ключевых участках

Ключевой участок	Разрешение ЦМР, м	Форма окрестности	Внутренний радиус, кол. ячеек	Внешний радиус, кол. ячеек	Масштабный коэффициент
P1	50	кольцо	10	60	3000
P2	50	кольцо	16	50	2500
P3	5	кольцо	4	300	1500

Составлено автором.

Таблица 5 – Параметры, использованные для вычисления значений индекса батиметрической позиции мелких форм (F-*BPI*) на ключевых участках

Ключевой участок	Разрешение ЦМР, м	Форма окрестности	Радиус, кол. ячеек	Масштабный коэффициент
P1	50	круг	10	500
P2	50	круг	16	800
P3	5	круг	10	50

Составлено автором.

Средний размер широких депрессий в глубоководной части участка P2 составляет 2500 м, что определяет соответствующий масштабный коэффициент В-

ВРІ. При разрешении ЦМР 50 м внешний радиус равен 50 ячейкам растра. Масштабный коэффициент F-ВРІ для данного участка составил 800 м, что является средней шириной примыкающих к мелководной части района исследования вытянутых с запада на восток возвышенностей и депрессий между ними.

Наиболее детальная батиметрическая съемка была выполнена на полигоне РЗ, что позволило получить ЦМР с разрешением 1 м. Для вычисления индексов ВРІ такое разрешение является избыточным, т.к. расчет занимает длительное время (более суток). Поскольку самыми мелкими формами рельефа являются протяженные борозды, ширина которых на данном участке составляет более 10 м, в целях ускорения расчета ВРІ без существенных искажений мелких форм рельефа было уменьшено разрешение исходной ЦМР до 5 м с помощью функции Resample программы ArcGIS. Несмотря на пологий рельеф на участке РЗ выделяются слабо выраженные вытянутые с севера на юг депрессии минимальной шириной около 1500 м. Для расчета В-ВРІ данная величина была принята в качестве масштабного коэффициента, и при разрешении ЦМР 5 м значение внешнего радиуса окрестности составило 300 ячеек. Масштабный коэффициент F-ВРІ определялся по средней ширине протяженных борозд, которая составляет около 50 м.

Склоны и горизонтальные поверхности по ВРІ выделялись с использованием растровой модели максимальных значений углов уклона, которые рассчитывались по ЦМР для каждой ячейки 'e' (Рисунок 24) по формулам:

$$[dz/dx] = ((c + 2f + i) - (a + 2d + g)) / (8 * x_cellsize), \quad (2)$$

$$[dz/dy] = ((g + 2h + i) - (a + 2b + c)) / (8 * y_cellsize), \quad (3)$$

$$\text{slope}_{\text{deg}} = \arctg (\sqrt{[dz/dx]^2 + [dz/dy]^2}) * 180/\pi, \quad (4)$$

где $[dz/dx]$ – угловой коэффициент (частная производная) по направлению X; $[dz/dy]$ – угловой коэффициент (частная производная) по направлению Y; a-i – значения глубин ЦМР (Рисунок 24); x_cellsize – размер сетки ЦМР по X; y_cellsize – размер сетки ЦМР по Y; $\text{slope}_{\text{deg}}$ – значение максимального уклона для ячейки 'e' в градусах.

a	b	c
d	e	f
g	h	i

Рисунок 24 – Область сканирования поверхности ЦМР при расчете углов уклона
Составлено автором.

Поскольку абсолютные значения уклонов зависят от разрешения ЦМР, для каждого района исследования на основе экспертной оценки растровых поверхностей ЦМР и углов были определены пороговые значения для пологих (slp_f) и крутых (slp_s) склонов (Таблица 6). Значения уклона, меньше или равные slp_f , соответствуют протяженным горизонтальным поверхностям, визуально определяемым на батиметрической карте, а бóльшие значения – склонам. Крутые склоны четко выделяются на карте уклонов по значительному увеличению углов более чем на 1-2 среднеквадратичных отклонения (σ_{slp}). Минимальное значение параметра slp_s определялось на таких участках по профилям распределения уклонов, как точка перегиба, где резко возрастает градиент (Рисунок 25).

Таблица 6 – Пороговые значения углов уклона для выделения горизонтальных поверхностей, пологих и крутых склонов

Ключевой участок	Разрешение растра, м	Минимальное значение уклона для пологого склона (slp_f)	Минимальное значение уклона для крутого склона (slp_s)
P1	50	$0,25^0$	1^0
P2	50	$0,5^0$	$0,8^0$
P3	5	$0,9^0$	2^0

Составлено автором.

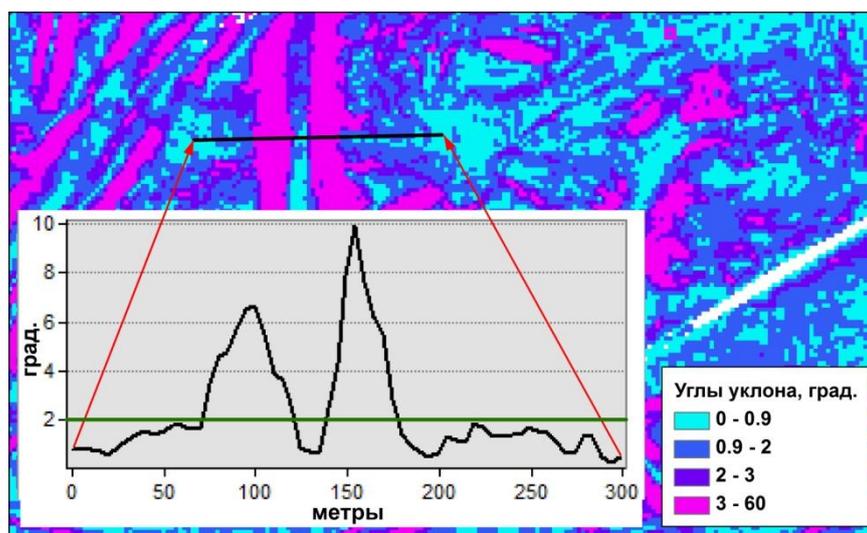


Рисунок 25 – Пример определения минимального значения уклона для крутого склона (slp_s) по рассчитанному растру уклонов на полигоне РЗ (красными стрелками обозначены границы профиля, зеленой линией – предельное значение уклона 2^0)

Составлено автором.

Для сопоставления В-ВРІ и F-ВРІ в целях выделения крупных и мелких форм рельефа их абсолютные значения предварительно стандартизировались по формуле:

$$BPI_{std} = \text{int}((BPI_{raster} - BPI_{mean}) * 100 / \sigma_{BPI} + 0.5), \quad (5)$$

где BPI_{std} – стандартизированный растр ВРІ; BPI_{raster} – исходный растр ВРІ; BPI_{mean} – среднее значение ВРІ; σ_{BPI} – среднеквадратичное отклонение значений ВРІ.

Значения стандартизированного растра характеризуют отклонение индекса ВРІ от среднего на величину среднеквадратичного отклонения (σ_{BPI}). Например, значения -1 и 1 стандартизированного растра соответствуют $BPI_{mean} - \sigma_{BPI}$ и $BPI_{mean} + \sigma_{BPI}$ исходного растра, а нулевые значения – BPI_{mean} .

По стандартизированным значениям В- BPI_{std} и углам уклона были выделены 4 *формы мезорельефа (BPI Zones)*, определяющие *типы урочищ*:

1. **Возвышенности (Crests)** – точки на возвышенностях, которые имеют значения $BPI_{std} \geq 1$;
2. **Понижения (Depressions)** – точки в понижениях рельефа, которые имеют значения $BPI_{std} \leq -1$;

3. **Горизонтальные поверхности (Flats)** – точки плоской местности, значения индекса В-ВРІ которых находятся в пределах $-1 < \text{В-ВРІ}_{\text{std}} < 1$, и угол уклона меньше или равен минимальному значению для пологого склона (slp_f).
4. **Склоны (Slopes)** – точки наклонной батиметрической поверхности, значения индекса В-ВРІ которых находятся в пределах $-1 < \text{В-ВРІ}_{\text{std}} < 1$, и угол уклона больше заданного значения для пологого склона (slp_f).

Классификация **форм микрорельефа (Structures)**, определяющих **фации**, выполнялась на основе пространственного анализа по алгоритму, который комбинирует стандартизированные $\text{В-ВРІ}_{\text{std}}$ и $\text{F-ВРІ}_{\text{std}}$, углы уклона и батиметрическую поверхность (Рисунок 26). Сочетание $\text{В-ВРІ}_{\text{std}}$ и $\text{F-ВРІ}_{\text{std}}$ использовалось для определения границ крупных и мелких форм. Углы уклона применялись для выделения горизонтальных поверхностей, пологих и крутых склонов по заданным граничным значениям slp_f и slp_s . Батиметрия использовалась для классификации ландшафтов на прибрежном мелководье (**Shelf**) и за его пределами. Глубина нижней границы прибрежного мелководья (**dp_sh**) определялась с использованием карты углов уклона рельефа дна российского сектора юго-восточной части Балтийского моря по ближайшей к берегу зоне максимального градиента глубин (Ezhova et al., 2012). Ее глубина вдоль всего побережья непостоянна (от 20 до 50 м), поэтому для каждого ключевого участка использовалось уникальное значение параметра dp_sh (Таблица 7). На участке P1 прибрежное мелководье ограничивается изобатой 25 м, участок P2 полностью находится в зоне мелководья, а P3 – за ее пределами.

Каждый участок характеризуется индивидуальным сочетанием крупных и мелких форм. Всего метод позволил выделить 13 микроформ рельефа (ландшафтных фаций):

1. **Узкая депрессия (Narrow depression)** – депрессия в низине, где оба индекса $\text{В-ВРІ}_{\text{std}}$ и $\text{F-ВРІ}_{\text{std}}$ имеют значения $\leq -1(\sigma)$, т.е. точки поверхности находятся ниже их окрестностей в каждом из двух масштабов.

2. **Локальная депрессия на горизонтальной поверхности (*Local depression on flat*)** – локальная депрессия в пределах горизонтальной поверхности рельефа дна, где значения $V-BPI_{std}$ около нуля в пределах $\pm 1(\sigma)$, $F-BPI_{std}$ имеет отрицательные значения $\leq -1(\sigma)$, и углы уклона не превышают нижний предел для пологого склона ($\leq slp_f$).
3. **Латеральная депрессия на склоне (*Lateral midslope depression*)** – небольшая депрессия на поверхности склона, где значения $V-BPI_{std}$ около нуля в пределах $\pm 1(\sigma)$, $F-BPI_{std}$ имеет отрицательные значения $\leq -1(\sigma)$, и углы уклона больше заданного нижнего предела для пологого склона ($> slp_f$).
4. **Депрессия на возвышенности (*Depression on crest*)** – небольшая депрессия на вершине, которая выделяется по положительному $V-BPI_{std} \geq 1(\sigma)$ и отрицательному $F-BPI_{std} \leq -1(\sigma)$.
5. **Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном (*Broad depression with an open bottom*)** – широкая депрессия с U-образной формой, в которой любые мелкие формы рельефа имеют плоскую поверхность или постоянный уклон. Ландшафтная фация выделяется по отрицательным значениям $V-BPI_{std} \leq -1(\sigma)$ в сочетании с $F-BPI_{std}$ близким к нулю в пределах $\pm 1(\sigma)$.
6. **Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья (*Broad flat*)** – широкая плоская область за пределами прибрежного мелководья, где в составе ландшафта практически отсутствуют мелкие структуры. Такие области классифицируются по следующим параметрам: $V-BPI_{std} > -1(\sigma)$; $F-BPI_{std}$ в пределах $\pm 1(\sigma)$; углы уклона не превышают нижний предел для пологого склона ($\leq slp_f$); глубины больше значения нижней границы прибрежного мелководья ($< -dp_sh$).
7. **Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье (*Shelf*)** – широкая плоская область на прибрежном мелководье, где в составе ландшафта практически отсутствуют мелкие формы. Такие области классифицируются по следующим параметрам: $V-BPI_{std} > -1(\sigma)$; $F-BPI_{std}$ в пределах $\pm 1(\sigma)$; углы уклона не превышают нижний

предел для пологого склона ($\leq \text{slp}_f$); глубины меньше или равны значению нижней границы прибрежного мелководья ($\geq -\text{dp}_{sh}$).

8. ***Пологий склон (Open slopes)*** – широкая поверхность с постоянным уклоном, где в составе ландшафта практически отсутствуют мелкие формы. Такие области классифицируются по следующим параметрам: $\text{B-BPI}_{\text{std}} > -1(\sigma)$; $\text{F-BPI}_{\text{std}}$ в пределах $\pm 1(\sigma)$; значения углов уклона находятся в диапазоне от нижнего предела для пологого склона (slp_f) до нижнего предела для крутого откоса (slp_s).
9. ***Локальная возвышенность в крупной депрессии (Local crest in depression)*** – локальная возвышенность в пределах крупной депрессии, где $\text{B-BPI}_{\text{std}}$ имеют отрицательные значения $\leq -1(\sigma)$, а $\text{F-BPI}_{\text{std}}$ – положительные $\geq 1(\sigma)$.
10. ***Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности (Local crest on flat)*** – локальная возвышенность в пределах широкой горизонтальной поверхности, где значения $\text{B-BPI}_{\text{std}}$ около нуля в пределах $\pm 1(\sigma)$, $\text{F-BPI}_{\text{std}}$ положительные $\geq +1(\sigma)$, и углы уклона не превышают нижний предел для пологого склона ($\leq \text{slp}_f$).
11. ***Латеральная возвышенность на склоне (Lateral midslope crest)*** – небольшая возвышенность на склоне, где значения $\text{B-BPI}_{\text{std}}$ около нуля в пределах $\pm 1(\sigma)$, $\text{F-BPI}_{\text{std}}$ положительные $\geq +1(\sigma)$, и углы уклона больше нижнего предела для пологого склона ($> \text{slp}_f$). Зачастую эта форма представляет собой уступ на склоне.
12. ***Узкий гребень (Narrow crest)*** – гребень возвышенности, где $\text{B-BPI}_{\text{std}}$ и $\text{F-BPI}_{\text{std}}$ имеют положительные значения $\geq +1(\sigma)$, т.е. точки поверхности находятся выше их окрестностей в каждом из двух масштабов.
13. ***Крутой склон/откос (Steep slope)*** – крутой склон, где углы уклона превышают нижнее предельное значение для крутого откоса ($> \text{slp}_s$).

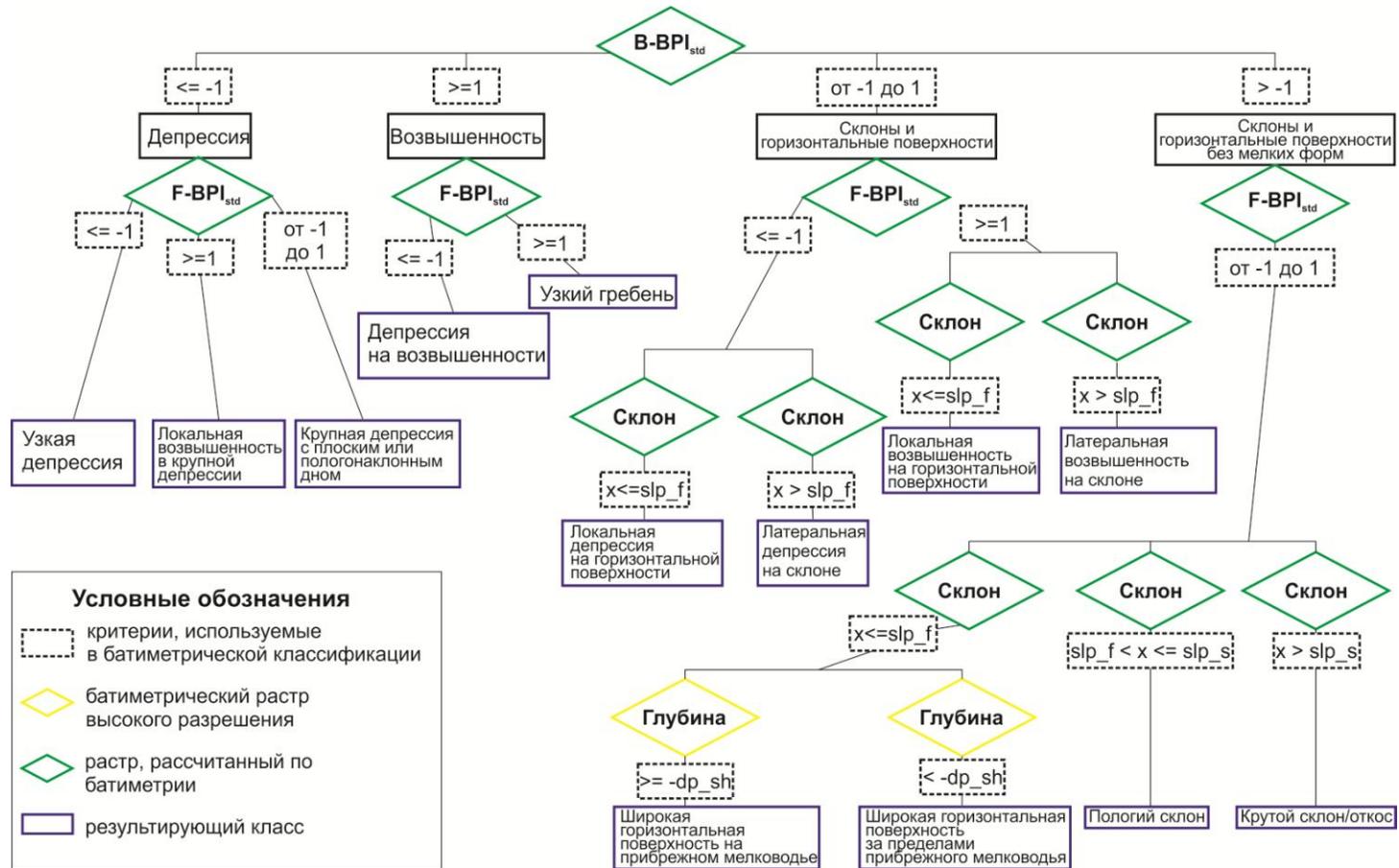


Рисунок 26 – Блок-схема алгоритма выделения форм мезо- и микро рельефа, где $B-VPI_{std}$ – стандартизированный индекс батиметрической позиции крупных форм, $F-VPI_{std}$ – стандартизированный индекс батиметрической позиции мелких форм, slp_f – значение уклона для нижней границы пологого склона, slp_s – значение уклона для нижней границы крутого склона, dp_{sh} – значение нижней границы прибрежного мелководья

Составлено автором по (Lundblad et al., 2006).

Таблица 7 – Значения глубины нижней границы прибрежного мелководья (*dp_sh*) на участках крупномасштабного картирования

Район исследования	Диапазон глубин в районе исследования, м	Нижняя граница прибрежного мелководья (<i>dp_sh</i>), м
P1	12-32	25
P2	6-27	35
P3	60-100	50

Составлено автором.

Крупномасштабные ландшафтные карты ключевых участков были построены в программе ArcGIS путем совмещения ГИС-слоев нескольких компонентов:

- формы мезо- и микрорельефа ландшафта, выделенные по ЦМР (растровые слои);
- типы субстрата (Таблица 8), полученные из крупномасштабной карты литологического состава осадков по классификации Фолка, составленной по материалам геолого-геофизических экспедиционных исследований (векторные слои);
- вертикальная зональность по EUNIS (векторный слой);
- соленость по BALANCE (векторный слой);
- придонная температура по классификации, предложенной в данной работе для среднемасштабного картирования (векторный слой).

На конечную карту не наносились те компоненты, которые имеют постоянные свойства на протяжении всего района исследования, но их характеристики использовались при описании субквальных ландшафтов.

Дополнительно для каждого района исследования с использованием модуля BTM программы ArcGIS был рассчитан *коэффициент расчлененности рельефа дна (Ruggedness)*, который является индикатором разнообразия ландшафтов. В качестве исходных данных для расчета использовались ЦМР дна, полученные по результатам съемок ОЛЭ и МЛЭ. Коэффициент расчлененности является дисперсией нормальных векторов ячеек сетки в пределах заданной окрестности и

отражает вариацию трехмерной ориентации элементарных частей батиметрической поверхности. Размер окрестности был задан величиной 5 ячеек растра, что является оптимальным для характеристики крупных и мелких неровностей дна. Значения в полученном растре находятся в диапазоне от 0 (нерасчлененный рельеф) до 1 (сильно расчлененный рельеф). Расчлененность рельефа была классифицирована согласно (Lundblad et al., 2006) по величине среднеквадратичного отклонения: Очень высокая ($>3\sigma$), Высокая ($2-3\sigma$), Выше среднего ($1-2\sigma$), Средняя ($0-1\sigma$), Ниже среднего ($-1-0\sigma$), Низкая ($<-1\sigma$).

Таблица 8 – Схема сопоставления легенд карт по классификации Фолка и BALANCE

№ п/п	Классификация типов субстрата по BALANCE	Классификация типов осадков по Фолку
1	Коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)	Валуны, галька, гравий
2	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)	Валуны, галька, гравий
		Гравий
		Песчаный гравий
3	Пески различной крупности (с проявлениями гравия)	Песчаный гравий
		Гравелистые пески
		Пески грубозернистые
		Пески крупнозернистые
		Пески среднезернистые
		Пески мелкозернистые
		Пески тонкозернистые
Алевро-пески		
4	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)	Песчаные алевриты

Составлено автором.

ГЛАВА 3. СУБАКВАЛЬНЫЕ ЛАНДШАФТЫ РОССИЙСКОГО СЕКТОРА ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО МОРЯ И ИХ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ

3.1. Физико-географическая и геоэкологическая характеристика района исследования

Балтийское море является водным бассейном, занимающим обширную депрессию в пределах Балтийского щита и Русской плиты Восточно-Европейской платформы. Это обуславливает мелководность моря, малые высоты окружающей суши и преобладание равнинного мелкохолмистого рельефа. Балтийское море является внутриконтинентальным бесприливным шельфовым бассейном Атлантического океана и связано с ним через Северное море, проливы Скагеррак, Каттегат и Датские проливы (Гидрометеорология и гидрохимия, 1992).

История Балтийского моря началась около 17 тыс.л.н., когда в результате таяния и отступления Скандинавского ледникового щита формировались приледниковые озера, которые по мере наполнения талой водой трансформировались в единый бассейн. Сочетание эвстатических колебаний уровня Мирового океана и гляциоизостатического движения земной коры привело к неоднократным трансгрессиям и регрессиям образовавшегося водоема, которые определили стадии развития Балтийского моря. На первой стадии Балтийского Ледникового Озера 15-12 тыс.л.н. в результате быстрого таяния ледника поступали огромные объемы пресной воды. Уровень озера постоянно повышался, за исключением быстрой регрессии около 13 тыс.л.н. в результате относительно кратковременного открытия пролива севернее г. Биллинген в центральной части южной Швеции (Björck, 2008). Стадия Иольдиевого моря началась около 11,6 тыс.л.н. с повторного открытия Средне-Шведского пролива, быстрой регрессии до уровня Северного моря и проникновения соленых вод. Около 10,7 тыс.л.н. в результате изостатического подъема земной коры пролив севернее г. Биллинген снова закрылся, и началась стадия Анцилового озера. Последняя Литориновая стадия началась в период 9,8-8,5 тыс. лет назад с постоянного поступления соленых вод Северного моря через проливы Орезунд и Большой Бельт (Andrén et

al. 2011). В настоящее время вследствие послеледникового изостатического подъема земной коры берега северной части Балтийского моря до сих пор испытывают значительные перемещения в сторону моря (6-9 мм/год), а южные берега испытывают незначительное погружение (0,5-2 мм/год) (Harff, 2011).

Деятельность ледника, гляциоизостатический подъем земной коры в сочетании с эвстатическими колебаниями уровня моря, а так же современные условия осадконакопления во многом определили рельеф дна Балтийского моря, характерной чертой которого является заметная расчлененность, обусловленная наличием впадин, подводных порогов между ними, узких желобов и проливов, песчаных и каменистых банок. Такой рельеф дна сильно затрудняет горизонтальный водообмен в глубинном слое между отдельными частями моря и в целом между Балтийским и Северным морями, что оказывает существенное влияние на процесс обновления вод во впадинах моря, формирование режима солености, температуры воды, гидрохимических и биологических условий в глубинном слое.

Большую часть района исследования занимает *Гданьский бассейн* – часть Балтийского моря, примыкающая к берегам Польши, России и Литвы, отделенная от остальной части моря *Гданьско-Готландским порогом* и *Лиенайско-Клайпедской возвышенностью* (Рисунок 5). Площадь бассейна в пределах его геоморфологических границ оценивается в 21,6 тыс. км². В структурном отношении Гданьский бассейн находится в пределах юго-восточного склона Балтийской синеклизы - прогиба, который образовался в докембрийском кристаллическом фундаменте Восточно-Европейской платформы 300-500 млн. лет назад. В отдельных местах имеются зоны пологих поднятий (антиклинальных структур) и прогибов (синклинальных структур). По морфологическим характеристикам в *Гданьском бассейне* выделяются крупные положительные и отрицательные формы.

Гданьская впадина является крупной отрицательной формой рельефа с максимальной глубиной около 110 м. Она представляет собой чашеобразную субгоризонтальную равнину с пологим понижением с северо-востока на юго-запад. Северо-восточная оконечность впадины характеризуется тектонически обусловленным понижением рельефа, так называемой «ложбиной Пранемана» с

крутым южным и пологим северным склоном. Донные отложения Гданьской впадины в зоне современной нефелоидной аккумуляции на глубинах более 90 м представлены алевропелитовыми илами. На склоне впадины на глубинах 60-90 м преобладают алевроглинистые пески и глинистые алевриты, на глубинах 35-60 м – пески различного гранулометрического состава и грубообломочные отложения.

Южная и восточная часть Гданьской впадины ограничивается прибрежным мелководьем, протянувшимся вдоль берегов Балтийской (Вислинской) косы, Самбийского п-ова и Куршской косы до глубин 30-35 м. Рельеф дна представляет собой наклонную, местами мелкохолмистую поверхность, унаследованную от погребенного моренного рельефа, с крутым склоном на юго-западе (Гданьский залив) и пологим склоном на северо-востоке (Самбийско-Куршская возвышенность). Поверхностные осадки прибрежного мелководья в основном представлены грубообломочными отложениями и песками различной размерности. Грубообломочные отложения связаны с выходами морены и в некоторых местах дочетвертичных пород, которые в результате интенсивного размыва сформировали валунно-галечные отложения, покрывающие поверхность морского дна. Песчаные отложения в прибрежной зоне (глубина 0-20 м) имеют волновой генезис и представляют собой аккумулятивные образования. Пески различной размерности за пределами зоны современного воздействия волн (глубины более 20 м) в основном являются реликтовыми. Они были сформированы в результате размыва морены и эоловых образований.

В восточной части Гданьского бассейна расположена крупная положительная форма – *Самбийско-Куршская возвышенность* (Рисунок 5). Ее наклонная поверхность представлена холмисто-грядовым рельефом дна. Этот район отличается интенсивным придонным гидродинамическим режимом. В центральной части возвышенности (*плато Рыбачий*) происходит наиболее активный размыв моренных и ледниково-озерных отложений, поэтому осадки представлены песками с гравием, галькой и валунами. На северо-восточном и юго-западном склонах преобладают реликтовые пески различного генезиса и гранулометрического состава (Жамойда, Сивков, 2012).

С севера Гданьскую впадину от Готландской отделяет *Лиенайско-Клайпедская возвышенность* с развитым ледниковым и водно-ледниковым

рельефом. Ее пологий аккумулятивный склон спускается в Гданьскую впадину (ложбину Пранемана). На западном склоне возвышенности *Клайпедская банка* примыкает к *Гданьско-Готландскому порогу* (Рисунок 5).

Северную оконечность российского сектора юго-восточной части Балтийского моря занимает северо-восточная часть Гданьско-Готландского порога и юго-восточный склон Готландской впадины. Гданьско-Готландский порог простирается на юго-запад от Клайпедской банки (Рисунок 5). Глубины порога составляют в основном 85-87 м, отдельные участки вдоль юго-восточного края порога имеют глубины 77-78 м (Литвин, 1987). Рельеф порога отличается четко выраженным мелко-холмисто-грядовым рельефом (Sviridov, Emelyanov, 2000; Rudenko, 2002). Здесь обнажаются или прикрыты тонким слоем современных осадков ледниково-аккумулятивные формы моренных отложений, покрывающих практически непрерывным чехлом дочетвертичное ложе моря. На юго-восточном склоне Готландской впадины рельеф дна представляет собой слабонаклонную поверхность, где по мере увеличения глубины мощность голоценовых илов увеличивается и достигает нескольких метров.

В юго-восточной части района исследования Куршская и Балтийская (Вислинская) косы отделяют от Балтийского моря мелководные Куршский и Калининградский (Вислинский) заливы (Рисунок 5). Калининградский залив соединяется с морем узким проливом в районе г. Балтийск. Площадь лагуны составляет 838 км², из которых 56,2% принадлежит России. Средняя глубина составляет 2,7 м, а максимальная – 5,2 м. Куршский залив соединяется с Балтийским морем проливом в районе г. Клайпеда (Литва). Большая часть акватории залива около 1300 км² из 1600 км² принадлежит России. Рельеф дна выположенный с глубинами не более 6 м. Осадки обоих заливов в основном представлены в центральной части глинистыми алевритами. В прибрежной части преобладают мелкозернистые и алевроглинистые пески (Жамойда и др, 2010).

Гидрометеорологический режим Балтийского моря определяется в основном общей атмосферной циркуляцией, речным стоком и водообменном с Северным морем (Дубравин, Стонт, 2012). Эти факторы определяют трехслойную соленостную структуру вод. Слой больших градиентов солености (галоклин) на глубинах 60-80 м разделяет верхний распресненный слой с нижним более соленым.

В юго-восточной части Балтийского моря поверхностный слой имеет соленость 6-8 PSU. В придонном слое соленость достигает значений 11-14 PSU. По температуре водная толща имеет трехслойную стратификацию. Верхний квазиоднородный слой (ВКС) соответствует максимальному летнему прогреву до глубин 55 м, где температура в различные сезоны варьируется в диапазоне 2-25⁰С. Холодный промежуточный слой (ХПС) на глубинах 55-75 м является реликтом осенне-зимней конвекции, на который не оказывает влияние летний прогрев, и температура вод составляет 1-4⁰С. На глубинах более 75 м находится относительно холодный глубинный слой, характеризующийся небольшим увеличением температуры ко дну до значений 4-8⁰С, связанным с затокком и распространением теплых североморских вод (Дубравин и др., 2012). Соленость Куршского залива в северной части не превышает 5 PSU, а в центральной и южной части вода практически пресная. Средняя соленость вод Вислинского залива в восточной части около 2,5-3,4 PSU, в центральной – 3,9-5,0 PSU и в южной – около 1,0-3,4 PSU (Чубаренко, Маргоньский, 2008). Вода заливов летом прогревается до 22-25⁰С, зимой их поверхность покрывается льдом.

Течения Балтийского моря представляют собой нестационарный сложный многокомпонентный процесс. Движение поверхностных вод достаточно сложное, но в целом прослеживается циклоническая циркуляция. В придонном слое юго-восточной части Балтийского моря во все сезоны преобладает генеральный перенос вод на юг-юго-запад. Скорости течений уменьшаются от 10-15 см/с у поверхности моря до 2-5 см/с у дна (Дубравин, Стонт, 2012).

Содержание растворенного кислорода в поверхностных слоях зависит от его абсорбции (поглощения) и фотосинтеза в верхнем (эвфотическом) слое и колеблется от 6 до 11 мл/л. Вследствие устойчивой стратификации вод вертикальный кислородный обмен затруднен. От поверхности до глубины около 70 м концентрация кислорода меняется незначительно и наблюдается ярко выраженная сезонная изменчивость: максимальное количество наблюдается весной (8-11 мл/л), минимальное – летом (6-7 мл/л). Ниже галоклина наблюдается резкое уменьшение кислорода, содержание которого на глубине 100 м составляет 1-2 мл/л. На глубинах более 100 м может появляться сероводород (Дубравин, 2012).

Прозрачность воды зависит от содержания в ней минеральной и органической взвеси, концентрация которой зависит от множества факторов (речной сток, береговая абразия, взмучивание, эвтрофикация и др.). В поверхностной воде Балтики наибольшая прозрачность в открытом море в пределах 8-15 м, а у берегов снижается до 2-4 м. Среднегодовая прозрачность вод в береговой зоне составляет 4,5 м (Дубравин, Навроцкая, 2008). Среднегодовое значение прозрачности в северной части Вислинского залива составляет 0.55 – 0.65 м, в южной части Куршского залива — 0.5 – 0.6 м (Александров, 2010).

Суббореальный климат юго-восточной части Балтийского моря носит черты морского умеренных широт, который характеризуется относительно небольшими годовыми колебаниями температуры воздуха, большой влажностью и облачностью, частыми осадками. Его особенности зимой обусловлены взаимодействием Азорского и Азиатского максимумов, а так же Исландского минимума, а летом – Азорского максимума и областей повышенного давления над Арктикой (Баринава, 2002). Самыми холодными месяцами являются январь и февраль, средняя температура которых колеблется от 0 до -2°C . В самом теплом месяце июле средняя температура воздуха составляет $16,9-17,1^{\circ}\text{C}$. Местную специфику ветрового режима определяет транзит атлантических циклонов при отсутствии орографических преград. Большую часть года преобладают ветра от запада и юго-запада с увеличением их скорости в осеннее-зимний период. Наибольшее количество штормов наблюдается осенью силой 7-8 баллов, иногда до 9-10 баллов (Дубравин, Стонт, 2012). Высота волн колеблется от 0 до 4,5 м и достигает максимальных значений в осеннее-зимний сезон, а минимальных – в весеннее-летний сезон (Амбросимов и др., 2012).

Юго-восточная часть Балтийского моря обычно не замерзает. В суровые зимы в конце января – в феврале вдоль побережья образуется плавучий лед небольшой мощности. Толщина льда не превышает 20-30 см. Относительно суровые ледовые условия в Куршском и Калининградском (Вислинском) заливах, где толщина льда может достигать 40 см и более. Под воздействием сильных западных ветров здесь могут наблюдаться значительные торожения (Гидрометеорология и гидрохимия..., 1992).

Бентосные сообщества юго-восточной части Балтийского моря бедны в видовом отношении. Распространение бентоса по акватории неравномерно и в основном связано с глубиной и характером распределения грунтов. Наиболее распространенные донные биоценозы *Macoma balthica* и *Mytilus edulis* превышают по биомассе в 16 раз остальные виды макрозообентоса. Биоценоз *M. Balthica* обитает на песчаных (предпочтительно крупных фракций) и илистых грунтах на глубинах 8-80 м. Биоценоз *M. Edulis* предпочитает твердый гравийно-галичный грунт на глубинах до 60 м. Самую высокую численность создают мелкие организмы – полихеты и олигохеты (до 84%). Их максимум приурочен к местам с песчаным грунтом. Широко распространены баянусы, которыми обрастают гравий, галька, валуны и раковины моллюсков. Изоподы *Saduria entomon* (морской таракан) встречаются преимущественно на илистых отложениях (Рудинская, Гусев, 2012). Максимальная численность бентосных водорослей на глубинах не более 9 м приурочена к твердому грунту (валуны, галька, гравий) и искусственным биотопам (буны, волнорезы, каменные отсыпки) (Ежова, Володина, 2012).

В связи с активным развитием морской инфраструктуры антропогенная нагрузка на донные ландшафты российского сектора юго-восточной части Балтийского моря резко возрастает. В настоящий момент проводятся работы по строительству морского газового терминала на траверсе п. Куликово, реконструкции порта Пионерский и обустройству морских месторождений нефти. Основными видами воздействия на донные ландшафты являются локальное изменение рельефа дна и повышение мутности придонных вод при дноуглубительных работах, строительстве морских стационарных объектов, добычи янтаря. Стоит так же отметить значительное развитие рыбной отрасли, которая оказывает негативное воздействие на ландшафты, особенно при вылове трески донными тралами. Донное траление помимо уменьшения численности трески приводит к нарушению верхнего деятельного слоя субстрата и гибели бентоса, являющегося кормовой базой рыб. Тем не менее, на региональном уровне антропогенная нагрузка на донные ландшафты незначительна и приурочена в основном к прибрежной части моря. Наибольшую экологическую угрозу представляют нефтяные загрязнения вод судами и нефтедобывающими платформами в случае аварийных разливов нефти. При своевременном устранении

нефтяных разливов с поверхности моря донные ландшафты не испытывают существенного загрязнения нефтепродуктами. Однако, при длительном нахождении нефти в воде (от нескольких недель до года) происходит ее агрегация, миграция на большие расстояния и осаждение совместно с тонкодисперсным материалом (Немировская, 2012). Поскольку региональный экологический мониторинг Балтийского моря в настоящий момент не проводится, отсутствуют регулярные данные о состоянии компонентов морской среды, позволяющие достоверно оценить антропогенное воздействие на морские экосистемы.

3.2. Донные ландшафты на региональном уровне

Согласно полученным результатам исследования, донный ландшафт российского сектора юго-восточной части Балтийского моря намного сложнее и разнообразнее, чем это было известно ранее в (Блажчишин, 1992; Балаян, 1992; Ezhova et al., 2012). На региональном уровне сочетание выбранных параметров позволило выделить 21 тип ландшафта (Рисунок 27, Таблица 9).

Согласно результатам картирования, самый распространенный тип ландшафта (№21, Рисунок 27, Таблица 9) располагается в циркулиторальной зоне на глубинах более 80 м, характеризуется слабонаклонным ровным илистым дном и является монодоминантным (Рисунок 28). Его площадь составляет около 3470 км² (30% от всего района исследования), и пространственно он практически совпадает с Гданьской впадиной. Илы характеризуются плохой сортировкой, высокой влажностью, низкой плотностью и высоким содержанием органического вещества (3-5% C_{org}). Согласно «правилу пелитовой фракции» они характеризуются относительно высоким содержанием токсичных тяжелых металлов и нефтепродуктов, имеющих антропогенное происхождение и поступающих в глубоководные районы Балтийского моря с речным стоком (Емельянов и др., 2012). Поскольку химическое загрязнение ландшафта играет существенную роль в трофической цепи «донные осадки – водная растительность – водная фауна – человек», важнейшей геоэкологической задачей является мониторинг изменчивости концентрации токсичных веществ в донных отложениях.

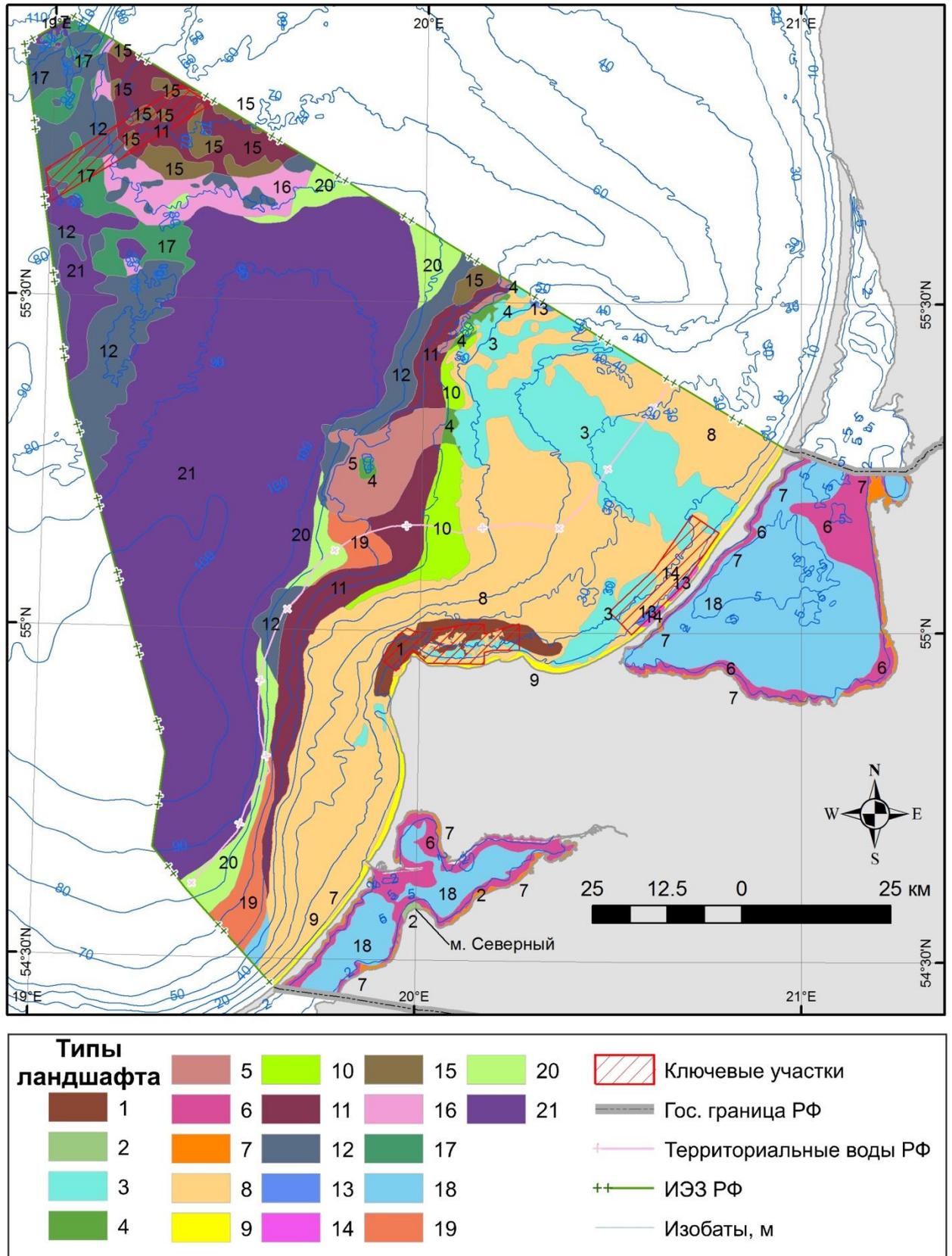


Рисунок 27 – Донный ландшафт российского сектора юго-восточной части

Балтийского моря. Типы ландшафтов приведены в Таблица 9

Составлено автором.

Таблица 9 – Типы донного ландшафта российского сектора юго-восточной части Балтийского моря

№ п/п	Тип ландшафта
1	Коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
2	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена), инфралитораль, придонные воды олигогалинные I, с выраженной сезонной изменчивостью температуры, влияние сезонного ледового покрова
3	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
4	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, холодного промежуточного слоя
5	Мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, холодного промежуточного слоя
6	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), циркулитораль, придонные воды олигогалинные I, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
7	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), инфралитораль, придонные воды олигогалинные I, с выраженной сезонной изменчивостью температуры, влияние сезонного ледового покрова
8	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
9	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), инфралитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
10	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, холодного промежуточного слоя
11	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, холодного промежуточного слоя
12	Пески различной крупности (с проявлениями гравия), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, относительно холодного глубинного слоя

№ п/п	Тип ландшафта
13	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), циркулитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
14	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), инфралитораль, придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
15	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, холодного промежуточного слоя
16	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, относительно холодного глубинного слоя
17	Плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), циркулитораль, придонные воды мезогалинные II, относительно холодного глубинного слоя
18	Илы (в т. ч. сапропелевидные), циркулитораль, придонные воды олигогалинные I, с выраженной сезонной изменчивостью температуры
19	Илы (в т. ч. сапропелевидные), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, холодного промежуточного слоя
20	Илы (в т. ч. сапропелевидные), циркулитораль, придонные воды мезогалинные I, относительно холодного глубинного слоя
21	Илы (в т. ч. сапропелевидные), циркулитораль, придонные воды мезогалинные II, относительно холодного глубинного слоя

Составлено автором.

Придонные воды ландшафта №21 мезогалинные II (соленость 11-18PSU) и относительно холодные (3-6⁰C) с невыраженной сезонной изменчивостью. Температура, соленость и концентрация растворенного кислорода у дна в большей мере зависят от интенсивности затоков североморских вод в Балтийское море. Низкое содержание растворенного кислорода является причиной малого видового разнообразия и численности макробентоса, который представлен редкими экземплярами моллюсков-двухстворок, полихет, олигохет и ракообразных. При длительном отсутствии затоков на глубинах более 100 м возникает гипоксия с образованием сероводорода, губительного для донных сообществ. По (Блажчишин, 1992) сероводородное заражение, которое ранее не наблюдалось в Гданьской

впадине, связано с резким увеличением коммунальных стоков биогенных веществ в 1980-е годы, что привело к сокращению популяции донных рыб.

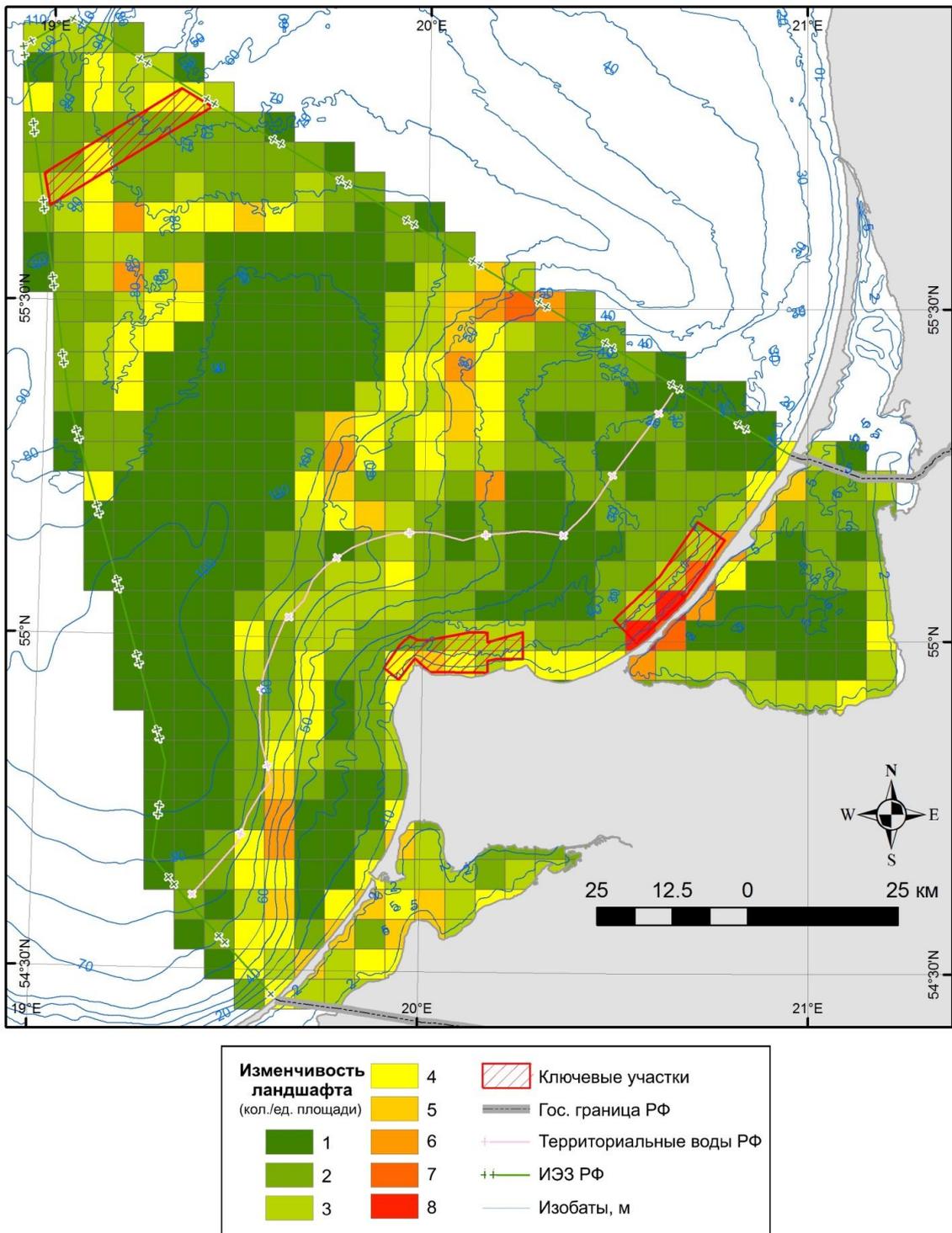


Рисунок 28 – Изменчивость донного ландшафта российского сектора юго-восточной части Балтийского моря. Монодоминантные ландшафты включают менее 3-х типов на единицу площади, полидоминантные – 3 и более
Составлено автором.

Местами толща илстых отложений насыщена пузырьками углеводородных газов (преимущественно метана), которые проявляются в виде акустических аномалий на эхолотных записях (Рисунок 29). На поверхности илстых отложений могут формироваться покмарки (газовые кратеры) в виде локальных депрессий округлой или вытянутой формы шириной от десятков до сотен метров и глубиной 1-3 м (Рисунок 29). В зоне формирования покмарков содержание метана в несколько раз выше, чем за его пределами. Согласно современным исследованиям газ имеет смешанное биогенное и глубинное происхождение (Блажчишин, 1992; Ульянова и др., 2012). Газонасыщенные осадки имеют важное геоэкологическое значение, поскольку метан наряду с водяным паром, CO_2 и озоном является парниковым газом. Важнейшей задачей при проведении регионального геоэкологического мониторинга является регулярное определение интенсивности потока метана из донных отложений для оценки его влияния на глобальное изменение климата.

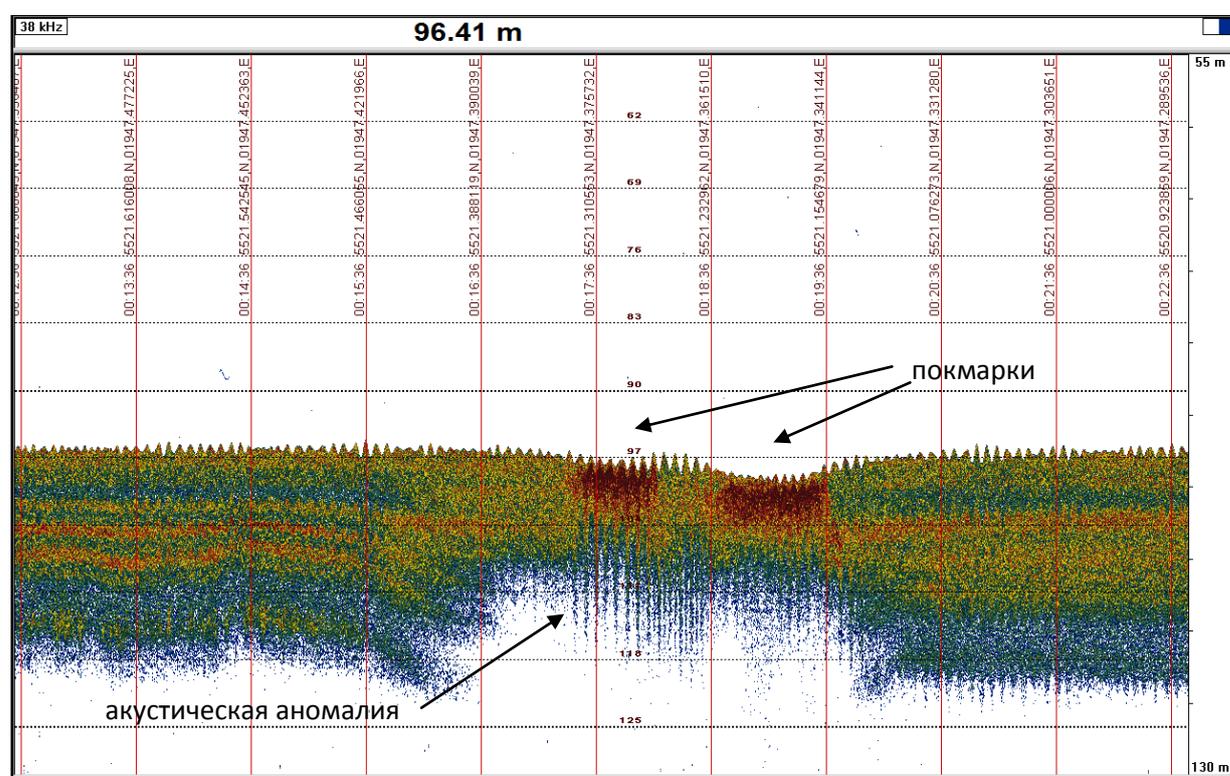


Рисунок 29 – Пример покмарков и акустической аномалии на профиле однолучевого эхолота в илах Гданьской впадины

Составлено автором.

Второй по распространенности тип ландшафта (№8, Рисунок 27, Таблица 9) на глубинах 9-60 м занимает большую часть прибрежного мелководья площадью около 2400 км² (21%) за пределами инфралиторали. Дно как правило представляет собой слабонаклонную поверхность. Осадки состоят из песков различного гранулометрического состава с проявлениями гравия и отдельных валунов. Несмотря на близость к источникам загрязнений (портам, устьям рек и др.) содержание в них токсичных веществ подчиняется «правилу фракций» и характеризуется минимальными значениями (Емельянов и др., 2012).

В пределах границ этого типа ландшафта находятся два других относительно крупных (Рисунок 27) – №3 площадью около 801 км² (7%) и №1 площадью 122 км² (1%). Они имеют схожие с доминирующим ландшафтом компоненты (придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры, характерной для деятельного слоя моря) за исключением типа субстрата. Ландшафт №3 характеризуется изрезанным дном и мозаичным сочетанием плотных глин и грубообломочных отложений, маркирующих обнажения морены в основании Куршской косы и к северу от нее на Самбийско-Куршском плато (плато Рыбачий) (Рисунок 27). Тип ландшафта №1 представляет собой реликтовую форму абразионного ступенчатого рельефа поверхности коренных пород, местами перекрытых валунно-галечной отмосткой. Палеоландшафты, представляющие собой сохранившиеся древние береговые уступы, являются редкими в Балтийском море. Ступенчатый рельеф и связанные с ним особенности распределения осадков создают особые условия для биологических сообществ. В этой связи данный тип ландшафта был изучен на локальном уровне и подробно описан в разделе 3.3. В песках различного гранулометрического состава основной популяцией бентосного биоценоза являются моллюски (преимущественно *Macoma baltica*). Твердые поверхности морен и коренных пород, покрытых галькой и валунами, создают благоприятную среду для развития животных обрастателей – мидий и баянусов.

Менее 50% от общей площади района исследования занимают полидоминантные ландшафты с мелкопятнистой текстурой, содержащие более десяти содоминирующих типов. На карте изменчивости донного ландшафта (Рисунок 28) зоны их распространения ярко выражены и простираются с юго-запада на северо-восток вдоль северного и южного склонов Гданьской впадины.

Такие ландшафты приурочены к периферии глубоководной зоны в верхней части юго-восточного склона Гданьской впадины на глубинах 55-85 м и Гданьско-Готландского порога на глубинах 65-85 м (Рисунок 27). Разнообразие ландшафтов обусловлено двумя взаимосвязанными абиотическими факторами: мозаичным распределением донных отложений и меняющимися характеристиками стратифицированной водной толщи, разделяемой пикноклином. Для этой зоны замедленной седиментации характерно чередование песков различного гранулометрического состава и тонкого слоя (до 20-30 см) голоценовых илов и алевритов, заполняющих локальные понижения рельефа. Подобные участки дна как правило представляют интерес с экологической точки зрения, поскольку большая изменчивость ландшафта, и как следствие биоразнообразие донных сообществ, является критерием для выделения природоохранных «горячих точек» («hot points»). Однако в данной ситуации нельзя ставить знак равенства между видовым разнообразием биологических сообществ и изменчивостью абиотических компонентов ландшафта. На глубинах более 40-60 м резко сокращается количество или совсем исчезают наиболее распространенные виды бентоса. Поэтому рассматриваемые полидоминантные ландшафты перспективны как ключевые участки для детальных исследований особенностей осадконакопления на границах раздела вод Балтийского моря и влияния резких изменений различных абиотических характеристик на распределение донных сообществ. Наибольший интерес представляет Гданьско-Готландский порог, который является транзитной зоной, где происходит водообмен между двумя крупными впадинами Балтийского моря, определяющий их экологическое состояние. По причине значительной его удаленности от берега выполнявшиеся ранее океанологические исследования носили фрагментарный характер. В этой связи детальные комплексные исследования в районе Гданьско-Готландского порога являются наиболее актуальными и были выполнены в рамках данной работы. В разделе 3.3 приводится детальное описание субаквальных ландшафтов Гданьско-Готландского порога на локальном уровне по результатам экспедиционных исследований.

В целях планирования морских охраняемых природных акваторий (МОПА) наибольшее значение имеют небольшие по площади редкие и уникальные ландшафты, характеризующиеся богатым биоразнообразием. Как правило такие

ландшафты приурочены к прибрежным участкам дна, где наиболее активно происходят процессы взаимодействия различных компонентов живой и неживой природы. В российском секторе юго-восточной части Балтийского моря наименьшие по площади типы ландшафта (№ 13 и 14, Рисунок 27, Таблица 9) располагаются на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы на глубинах 5-15 м. Участок характеризуется максимальной изменчивостью донного ландшафта (Рисунок 28). Оба типа разделены между собой границей инфра- и циркулиторали, а общая площадь составляет около 20 км². Придонные воды олигогалинные II (5-7PSU) с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Поверхностные донные отложения характеризуются мозаичным распределением с преобладанием выходов на поверхность плотных слоистых глинистых отложений, частично перекрытых покровными песками. Несмотря на то, что эти отложения имеют в своем составе высокое содержание органического вещества (более 14%), они относятся к классу твердых глин из-за их физических свойств. Предполагается, что эти плотные глины («лагунные илы») являются трансформированными илами палеолагуны (Zhamoïda et al. 2009; Sergeev et al. 2016). Ландшафт является уникальным как по своему генезису, так и с экологической точки зрения. По сравнению с соседними относительно безжизненными песчаными участками дна, ландшафты древних лагунных илов являются оазисом, где количество видов бентосных организмов резко возрастает. Поскольку район распространения уникальных морских ландшафтов (№13 и 14) является наиболее перспективным с точки зрения создания особо охраняемых природных объектов, в рамках данной работы на нем были выполнены детальные экспедиционные исследования, и подробное описание ландшафта на локальном уровне приведено в разделе 3.3.

Наиболее распространенный тип ландшафта в Куршском и Калининградском заливах (№18, Рисунок 27, Таблица 9) находится в циркулиторали (глубины более 1 м) за пределами зоны непосредственного влияния на дно ледового покрова. Его общая площадь составляет около 1120 км² (10% от всего района исследования и 70% от площади лагун). Поверхность дна покрыта илистыми отложениями, придонные воды олигогалинные I (соленость <5PSU) с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Богатые питательной средой донные осадки способствуют развитию бентосных сообществ, представленных в

основном моллюсками, олигохетами и хирономидами, которые являются кормовой базой для таких промысловых видов рыб как лещ, плотва, окунь, угорь и др.

Наибольшее разнообразие ландшафтов заливов наблюдается в мелководной прибрежной части (Рисунок 28). Это обусловлено инфралиторальной зоной со значительной изменчивостью распределения донных отложений, сформированных под воздействием эрозионно-аккумулятивных процессов. Инфралиторальная зона в лагунах подвергается прямому воздействию льда и торосов на дно в зимние месяцы. Узкую полосу мелководной прибрежной части заливов занимает самый маленький ландшафт (№7, Рисунок 27, Таблица 9) площадью около 60 км². Придонные воды олигогалинные I (<5PSU) с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Поверхностные осадки представлены песками различной крупности (преимущественно мелкозернистыми), которые характеризуются высокой степенью подвижности в периоды штормовой активности. Узкая полоса мелководной прибрежной части лагун с ее зарослями водной растительности имеет важное геоэкологическое значение, поскольку является местом икрометания и нагула рыб.

Наименьший по площади ландшафт Калининградского залива (№2, Рисунок 27, Таблица 9) расположен в районе м. Северный в инфралиторальной зоне, где дно подвержено влиянию сезонного ледового покрова. Его площадь составляет около 5 км², придонные воды олигогалинные I (<5PSU) с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Поверхность дна представлена выходами морены в виде валунно-галечных отложений с песчаным наполнителем. Многочисленные крупные валуны на поверхности дна в эвфотической зоне служат субстратом активного развития бентосной флоры и фауны.

3.3. Ландшафты ключевых участков

Ландшафт подводного берегового склона Самбийского п-ова в районе м.

Таран

Согласно среднемасштабной региональной карте донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря район исследования подводного берегового склона Самбийского п-ова в районе м. Таран (участок P1)

находится в циркулиторалях с олигогалинным II (5–7,5PSU) классом солености придонных вод, которые относятся к верхнему изменчивому по температуре слою (Рисунок 27). Впервые на данном участке по результатам однолучевых эхолотных промеров была построена подробная цифровая батиметрическая модель рельефа дна на глубинах 11-33 м (Рисунок 30). По данным гидролокации бокового обзора и гранулометрического анализа проб донных отложений впервые было выполнено крупномасштабное (1:50 000) литологическое картирование, которое показало, что донные отложения в районе исследования представлены валунно-гравийно-галечными отложениями и песками различной размерности (Рисунок 31). В результате крупномасштабного ландшафтного картирования было выделено 11 типов урочищ (Рисунок 32), состоящих из 28 фаций (Рисунок 33).

Полидоминантный ландшафт ключевого участка представлен двумя доминирующими урочищами: №6, занимающее 26% от общей площади района исследования, и №9 – 21% (Рисунок 32).

Наибольшее по площади урочище №6 находится в восточной части участка (Рисунок 32) и характеризуется слабонаклонной горизонтальной поверхностью дна преимущественно покрытого гравелистыми и грубозернистыми песками с примесью гальки (в том числе фосфоритовой) и гравия, маркирующими зону размыва. В составе субстрата более 50% песков, а содержание грубообломочных отложений находится в пределах 30-50%. На поверхности дна встречаются отдельные валуны диаметром до 3 м. Граница прибрежного мелководья на глубине 25 м разделяет урочище на 2 крупные фации №10 и №13 (Рисунок 33). Рельеф пологого склона осложнен локальными выходами морены в виде узких гребней и латеральных возвышенностей (Рисунок 30), поверхность которых представлена мозаичным сочетанием плотных глин и грубообломочных отложений (фации №22-23, 25, Рисунок 32). В центральной части района исследования урочище представлено алевро-песками (Рисунок 32), которые по (Блажчишин, 1992) отложены в затишной зоне под защитой м. Таран и частично имеют техногенное происхождение, связанное с намывом пляжей в Филинской бухте материалом размывших клифов, сброшенного в море в процессе выполнения противооползневых мероприятий. По (Жамойда, Сивков, 2012) выдвинуто предположение, что эти

пески являются реликтовыми и связаны с древними береговыми линиями. Для уточнения их генезиса необходимы дополнительные исследования.

Второе наибольшее по площади урочище №9 относится к ступенчатым склонам поверхности плотных дочетвертичных образований, которая представлена вытянутыми с юго-запада на северо-восток положительными мезоформами рельефа на глубинах 11-25 м (Рисунок 30) разделенных широкими депрессиями с пологонаклонным дном (фация №6, Рисунок 32). Палеоценовые и эоценовые отложения сложены глауконитами, нормально- и косослоистыми песками, алевритами, глинами, алевролитами с включениями силицитов, которые определяют общий скалистый облик ландшафта. Обнажения скальных пород отпрепарированы в гладкую плиту, а более рыхлые палеогеновые породы образуют бронированную цементированную поверхность с развитием железистых корок (Блажчишин, 1992). Поля грубозернистых (валунно-галечных) отложений являются индикаторами активных процессов подводного размыва и дефицита наносов. Пятнистость в распределении донных отложений обусловлена выходами коренных пород, местами перекрытых валунно-галечными отложениями и песками различной крупности, а также резкой сменой параметров придонных течений у м. Таран, связанных с крутым поворотом береговой линии.

Наличие двух основных факторов, таких как твердый тип субстрата и крутой береговой склон, позволило сохранить многочисленные древние береговые уступы в условиях разрушающего воздействия эрозионно-абразионных процессов на различных стадиях Балтийского моря в ходе многочисленных эвстатических колебаний уровня. Подобные уступы фрагментарно обнаруживаются только в южной и юго-восточной части Балтийского моря, а такая их сохранность характерна только для подводного берегового склона в районе м. Таран. В Балтийском море проблемам исследований субаквальных береговых клифов посвящено достаточно много работ, в том числе (Гуделис и др., 1977; Гялумбаускайте, 1982; Блажчишин и др., 1982; Блажчишин, 1998; Харин, 1987; Emelyanov, Romanova, 2002; Uscinowicz, 2003; Sivkov et al., 2011). Субаквальные клифы в них рассматриваются как ценный источник информации о древних уровнях моря для палеогеографических реконструкций. Большая часть предыдущих исследований в российском секторе юго-восточной части

Балтийского моря проводилась с помощью устаревшего на данный момент океанологического оборудования и с использованием старых архивных данных. До сих пор остается ряд нерешенных вопросов, связанных в первую очередь с абсолютной датировкой клифов и уточнением их полигенетического происхождения (эндогенного и/или экзогенного).

В рамках данной работы впервые по результатам обследования дна методом ГЛБО составлена подробная электронная карта (масштаб 1:50000) субаквальных уступов (Рисунок 32, Рисунок 33). В районе исследования выявлено гораздо больше клифов (33 фрагмента), чем было известно ранее. Глубина нижней площадки крупнейшего в районе исследования клифа (высота 5-10 м) составляет 27-28 м и согласно (Uscinowicz, 2003) соответствует уровню Анцилового озера. С древними береговыми линиями связаны не все уступы. Клифы на глубинах 16-21 м высотой 2-6 м могли быть сформированы как абразионными процессами в ходе литориновой трансгрессии, так и иметь тектоническое происхождение (разлом со смещением). Некоторые из уступов на глубинах менее 20 м высотой не более 1 м маркируют границу распространения аккумулятивных песчаных тел, образованных под воздействием современных волновых процессов. Для уточнения генезиса субаквальных клифов необходимы дополнительные геолого-геофизические исследования.

По форме склона субаквальные клифы разделяются на отвесные и ступенчатые, пологие и крутые, а по высоте – на высокие (4-13 м) и низкие (0,5-4 м) (Дорохов, Дорохова, 2014). Сонограммы ГЛБО свидетельствуют о том, что низкие уступы не оказывают существенного влияния на распределение донных отложений. Высокие уступы разделяют различные литодинамические системы на верхней и нижней площадке. Верхняя площадка, откос и нижняя бровка таких уступов покрыта грубообломочными отложениями, что связано с дефицитом наносов и является индикатором процессов интенсивного размыва дна. Зачастую нижняя бровка представлена валунно-глыбовой отмосткой. Нижняя площадка уступа покрыта средне- и мелкозернистыми песками (Рисунок 34), что характеризует менее интенсивную динамику осадков и является зоной накопления (или транзита) осадочного вещества.

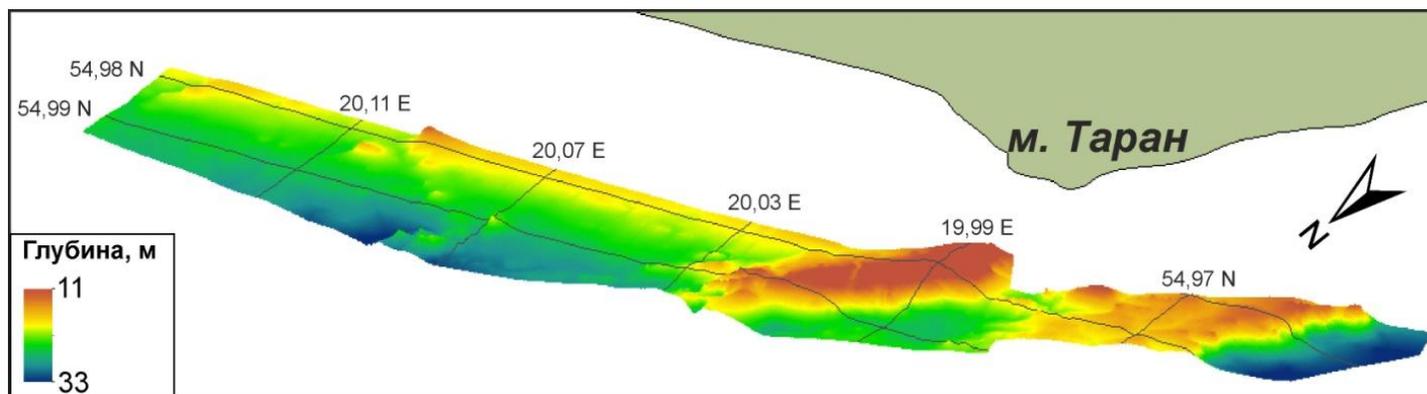


Рисунок 30 – Трехмерная цифровая модель рельефа дна на участке P1

Составлено автором.

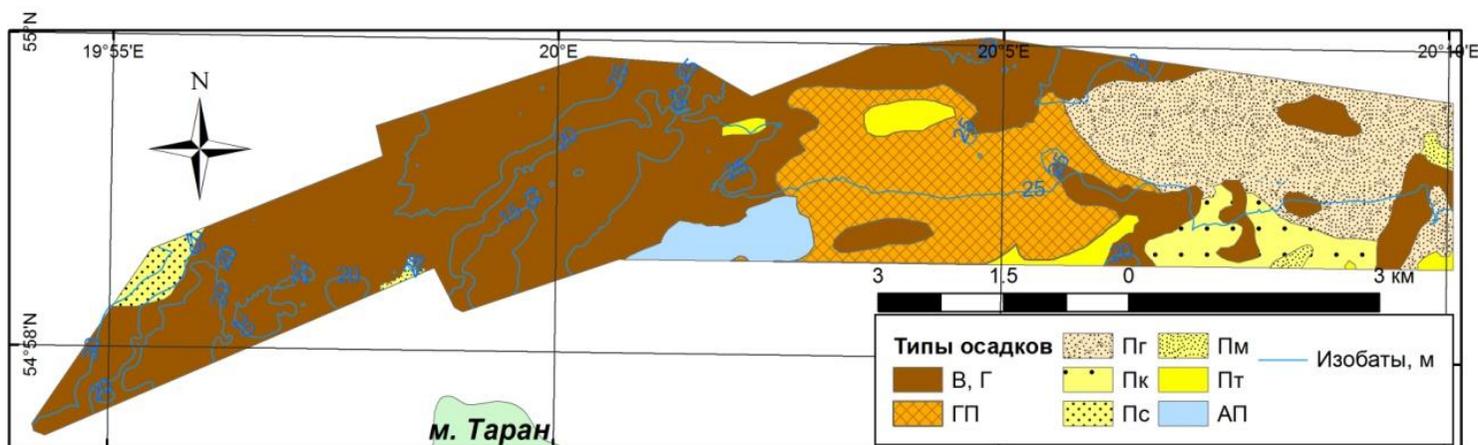


Рисунок 31 – Донные отложения на участке P1

Составлено автором.

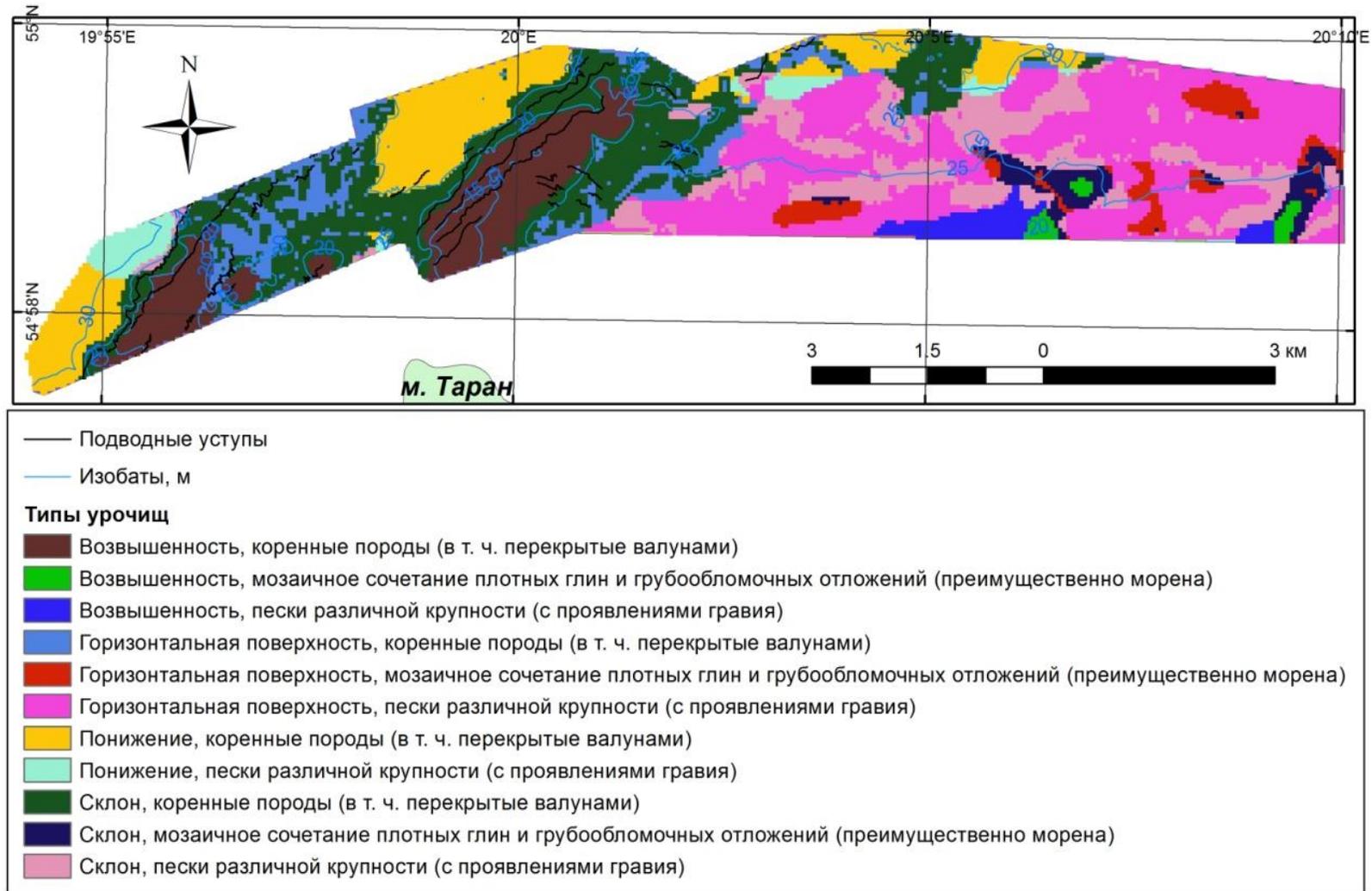


Рисунок 32 – Карта морских урочищ на подводном береговом склоне в районе м. Таран.

Составлено автором.

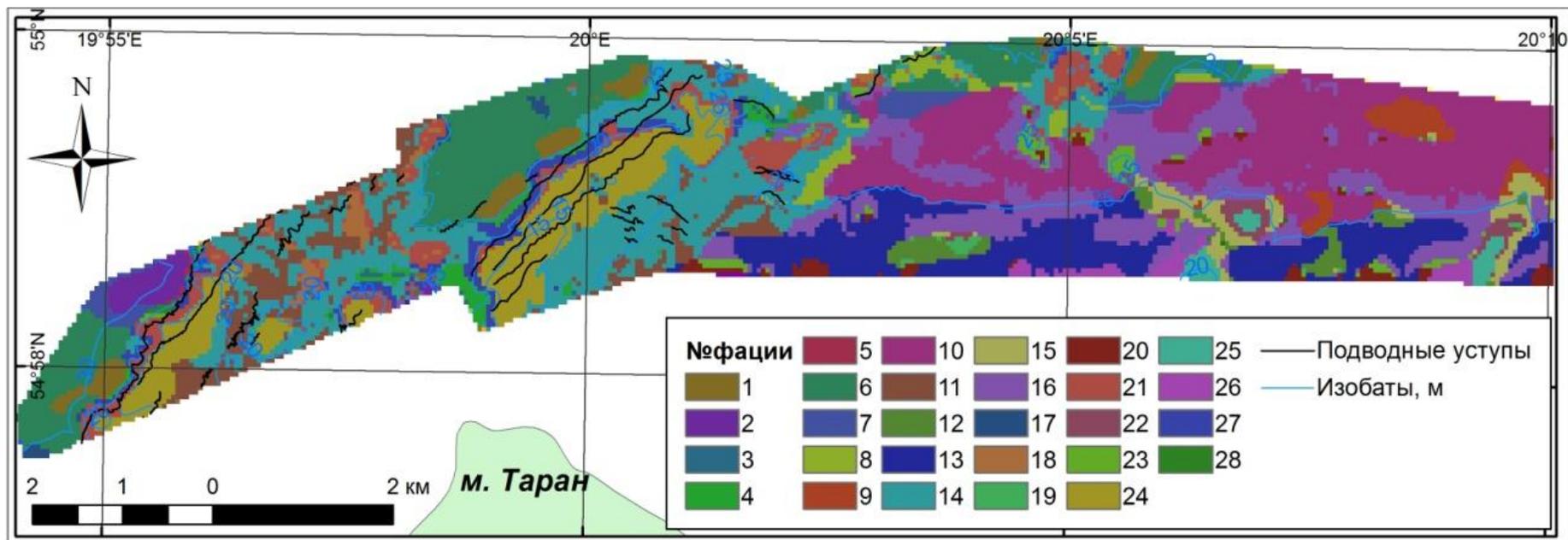


Рисунок 33 – Карта морских фаций на подводном береговом склоне в районе м. Таран. Типы фаций приведены в Таблица 10.
Составлено автором.

Таблица 10 – Типы ландшафтных фаций на подводном береговом склоне в районе м. Таран (участок Р1)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
1	Узкая депрессия, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
2	Узкая депрессия, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
3	Локальная депрессия на горизонтальной поверхности, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
4	Латеральная депрессия на склоне, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
5	Латеральная депрессия на склоне, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
6	Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
7	Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
8	Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
9	Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
10	Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
11	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
12	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
13	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
14	Пологий склон, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
15	Пологий склон, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
16	Пологий склон, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
17	Локальная возвышенность в крупной депрессии, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
18	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
19	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
20	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
21	Латеральная возвышенность на склоне, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
22	Латеральная возвышенность на склоне, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
23	Латеральная возвышенность на склоне, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
24	Узкий гребень, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
25	Узкий гребень, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
26	Узкий гребень, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
27	Крутой склон/откос, коренные породы (в т. ч. перекрытые валунами)
28	Крутой склон/откос, пески различной крупности (с проявлениями гравия)

Составлено автором.

Субаквальные клифы являются уникальными элементами донного ландшафта, где отмечается увеличение численности и биологического разнообразия донных растений и организмов. Твердый субстрат в виде плотной сцементированной поверхности коренных пород с валунно-галечными отложениями на поверхности представляет благоприятную среду для развития прикрепленных ко дну растений и организмов (мидии, балянусы). Уточнение

положения древних береговых уровней играет важную роль для реконструкции и прогноза изменения уровня моря в ходе глобального изменения климата.

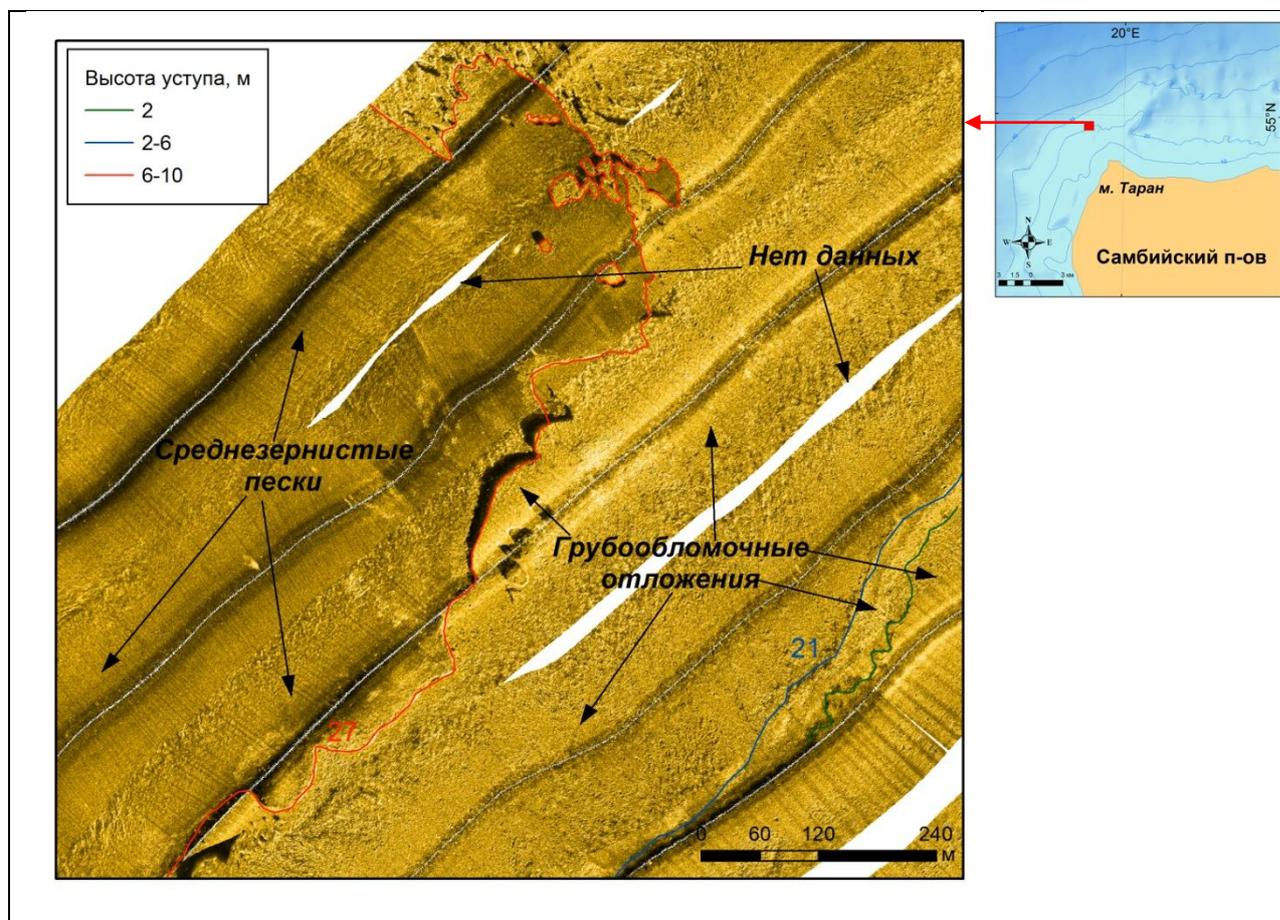


Рисунок 34 – Пример изображения затопленных древних береговых уступов в районе м. Таран и распределения донных отложений на мозаике ГЛБО. Цветными цифрами подписаны глубины подошвы уступов. На врезке отмечено положение представленного на рисунке участка

Составлено автором.

Ландшафт подводного берегового склона корневой части Куршской косы

Согласно среднемасштабной региональной карте донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря район исследования подводного берегового склона корневой части Куршской косы (участок P2) находится в инфра- и циркулиторали с олигогалинным II (5–7,5PSU) классом солености придонных вод, которые относятся к верхнему изменчивому по температуре слою (Рисунок 27). Впервые на данном участке по результатам

многолучевой эхолотной съемки была построена подробная цифровая батиметрическая модель рельефа дна на глубинах 6-27 м (Рисунок 35), позволившая выявить расчлененность рельефа. По данным гидролокации бокового обзора и гранулометрического анализа проб донных отложений впервые было выполнено крупномасштабное (1:50000) литологическое картирование, которое показало, что донные отложения в районе исследования в основном представлены песками различной размерности (Рисунок 36). В результате крупномасштабного ландшафтного картирования было выделено 10 типов урочищ (Рисунок 37), состоящих из 26 фаций (Рисунок 38).

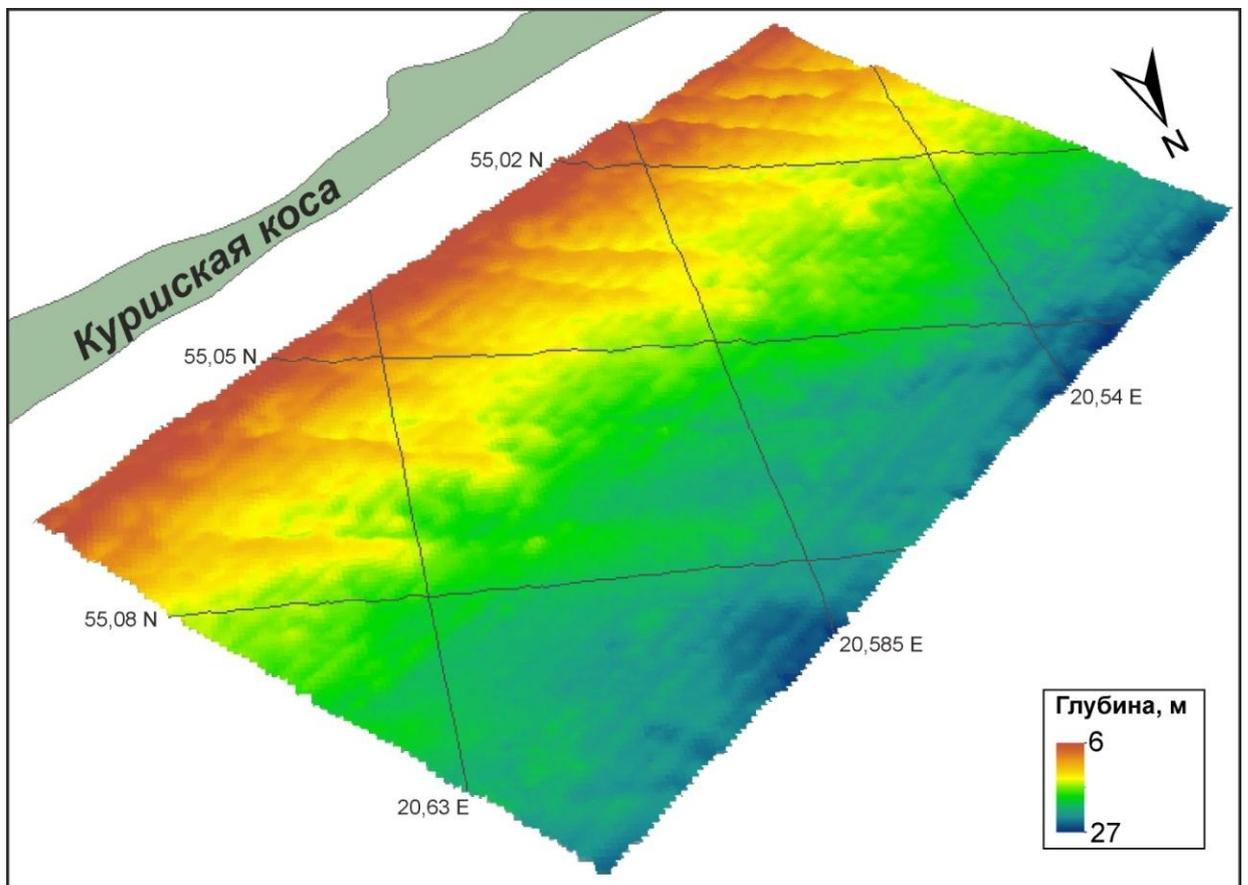


Рисунок 35 – Цифровая модель рельефа дна на участке P2
Составлено автором.

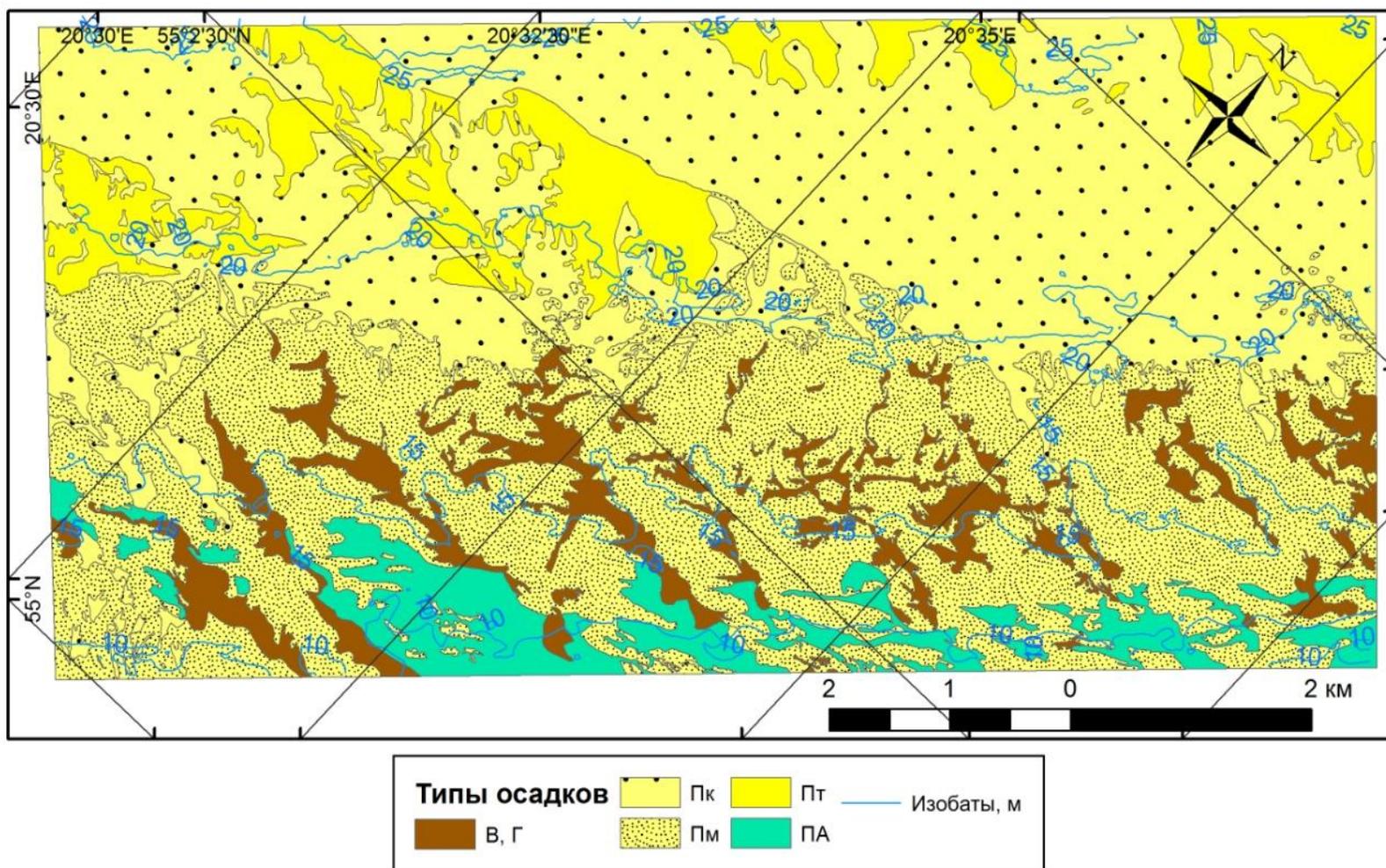


Рисунок 36 – Донные отложения на участке Р2

Составлено автором.

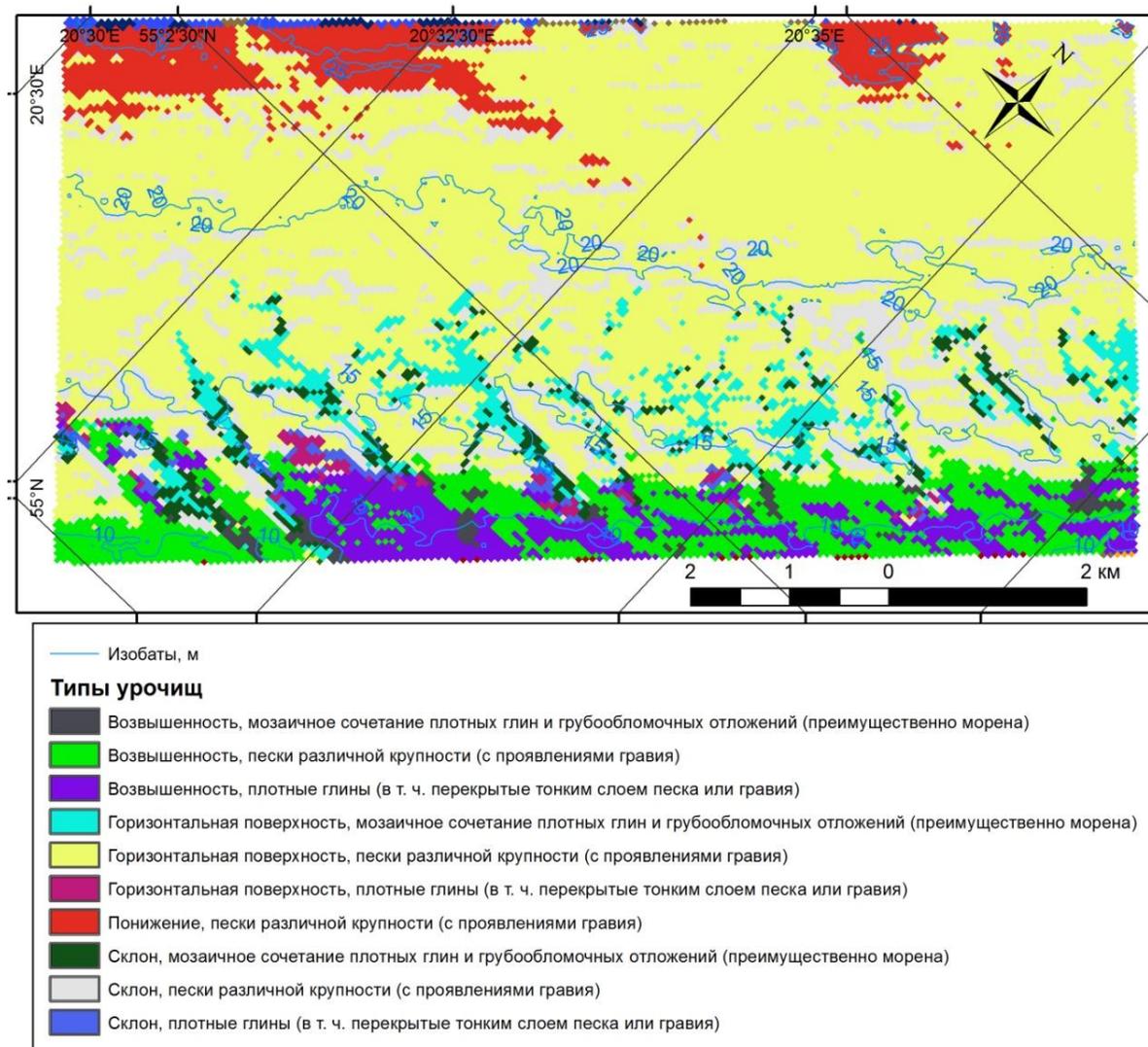


Рисунок 37 – Карта морских урочищ на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы

Составлено автором.

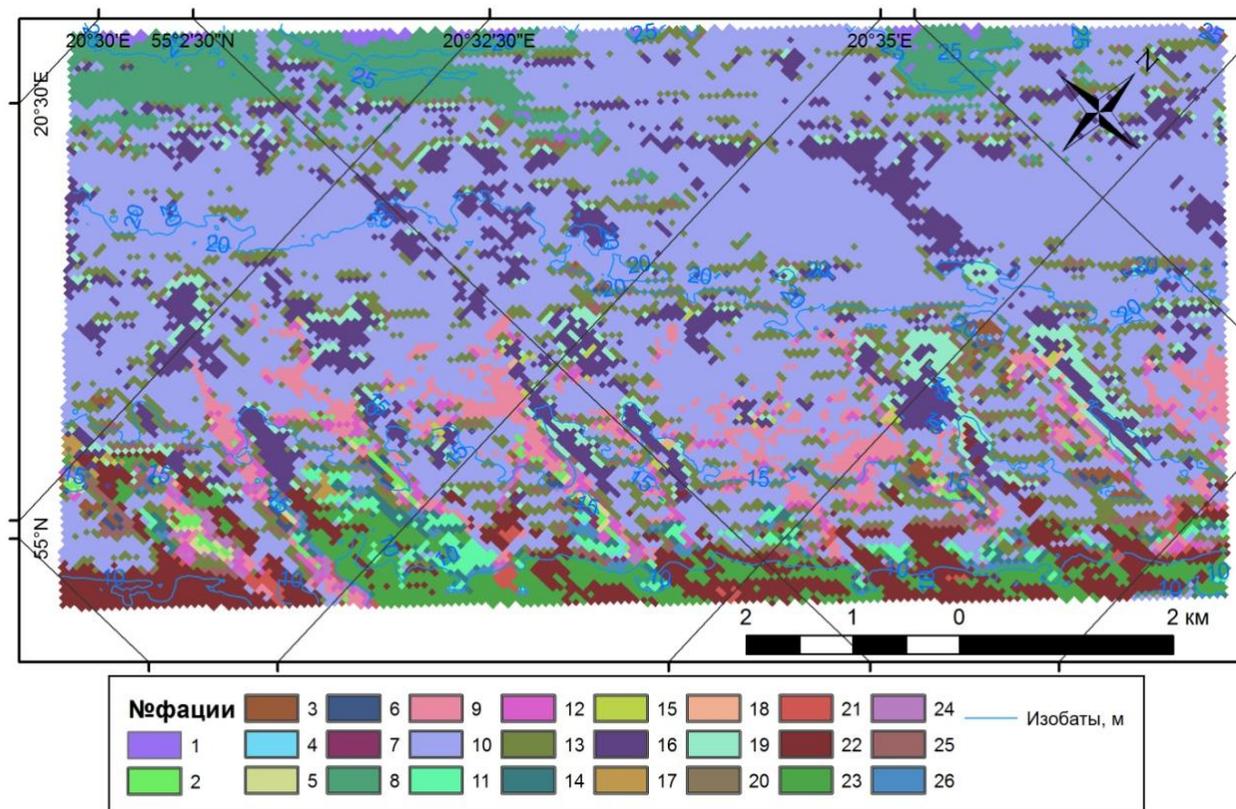


Рисунок 38 – Карта морских фаций на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы. Типы фаций приведены в

Таблица 11

Составлено автором.

Таблица 11 – Типы ландшафтных фаций на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы (участок Р2)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
1	Узкая депрессия, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
2	Локальная депрессия на горизонтальной поверхности, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
3	Локальная депрессия на горизонтальной поверхности, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
4	Локальная депрессия на горизонтальной поверхности, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
5	Латеральная депрессия на склоне, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
6	Латеральная депрессия на склоне, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
7	Латеральная депрессия на склоне, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
8	Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
9	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
10	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
11	Широкая горизонтальная поверхность на прибрежном мелководье, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
12	Пологий склон, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
13	Пологий склон, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
14	Пологий склон, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
15	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
16	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
17	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
18	Латеральная возвышенность на склоне, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
19	Латеральная возвышенность на склоне, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
20	Латеральная возвышенность на склоне, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
21	Узкий гребень, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
22	Узкий гребень, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
23	Узкий гребень, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)
24	Крутой склон/откос, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
25	Крутой склон/откос, пески различной крупности (с проявлениями гравия)
26	Крутой склон/откос, плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия)

Составлено автором.

Доминирующее урочище представлено горизонтальной (слабонаклонной) поверхностью дна подводного берегового склона, покрытого песками различного гранулометрического состава с примесью гальки и гравия. Наибольшая расчлененность рельефа наблюдается в мелководной части до глубин 15-20 м, где на поверхности дна прослеживаются узкие вытянутые субперпендикулярно к

береговой линии локальные возвышенности (Рисунок 35) покрытые мелкозернистыми песками (Рисунок 36), формирующие фации №№ 10, 16, 19, 22 (Рисунок 38). Положительные мезоформы рельефа дна являются реликтовыми образованиями, сформированными под воздействием аккумулятивно-абразионных процессов в ходе литориновой трансгрессии. Разветвленные ложбины между повышениями заполнены галькой и гравием (Рисунок 36). Грубообломочные отложения маркируют зону размыва и транзита осадков.

В верхней части положительных форм и на их склонах, на глубинах менее 15 м (Рисунок 35, Рисунок 36), обнажаются уникальные образования в виде плотных слоистых глинистых отложений (Рисунок 39), которые по гранулометрическому составу относятся к песчаным алевритам (Рисунок 36). Характерной особенностью является наличие в их составе более 10% органического материала. Предполагается, что эти плотные глины («лагунные илы») являются трансформированными илами палеолагуны (Zhamoïda et al., 2009; Sergeev et al., 2016). Их возраст по данным радиоуглеродного датирования колеблется в пределах 5510-6260 лет BP (Zhamoïda et al., 2009), что соответствует времени Литоринового моря. Лагунные илы были уплотнены и обезвожены под давлением дюн, которые в ходе литориновой трансгрессии перемещались по палеолагуне в восточном направлении. В наше время под воздействием волновой абразии трансформированные древние лагунные илы обнажились на подводном береговом склоне Куршской косы со стороны моря.

Доминирующими донными сообществами в районе исследования являются двухстворчатые моллюски *M. balthica* и *M. edulis*. Подводные выходы реликтовых лагунных илов формируют специфические донные ландшафты с высокой биологической продуктивностью. По сравнению с соседними участками дна они характеризуются резким возрастанием видового состава бентосных организмов. Доминирующими сообществами уникальной ландшафтной фации являются моллюски *M. edulis*, *M. arenaria* и бокоплав *C. volutator* (Kocheshkova et al., 2014).

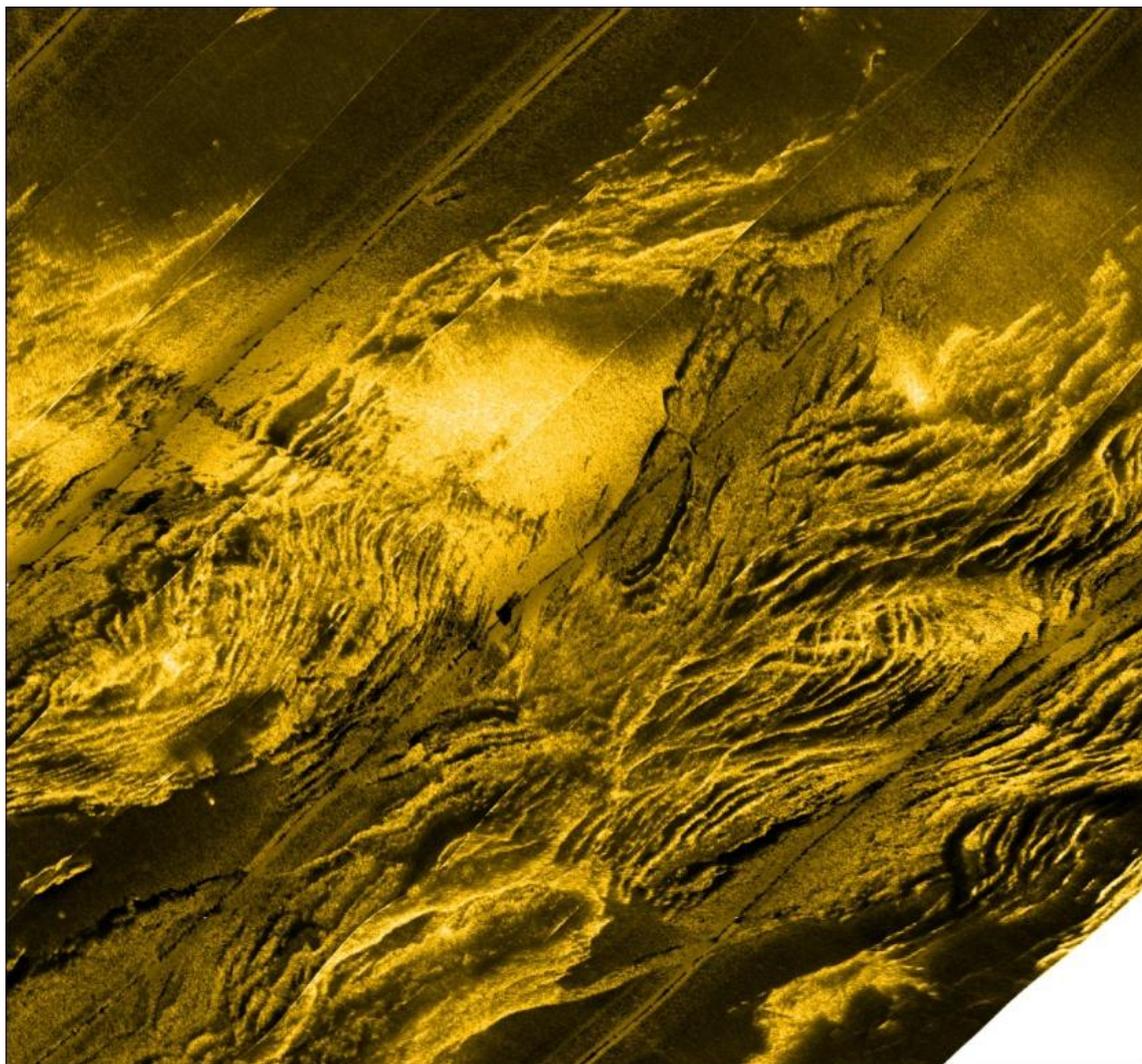


Рисунок 39 – Сонарное изображение выхода на поверхность слоистых песчаных алевритов «лагунных илов»

Составлено автором.

Ландшафт Гданьско-Готландского порога

Гданьская и Готландская впадины Балтийского моря разделяются вытянутым порогом, который простирается на юго-запад от Клайпедской банки (Klaipėda bank), являющейся наиболее крупной возвышенностью Клайпедско-Вентспилского плато (Рисунок 5), и рассекает на две части поток глубинных вод, распространяющихся от Датских проливов в центральную Балтику. Порог имеет разные названия: Готландско-Гданьский (Литвин, 1987), Продольный (Гелумбаускайте и др., 1991), Клайпедско-Лиепайское поднятие (Gelumbaускаite et al., 1999). В данной работе употребляется наиболее распространенное название –

Гданьско-Готландский порог (Блажчишин, 1998; Sviridov, Emelyanov, 2000; Emelyanov, 2002).

Глубины порога в среднем составляют 85-87 м, а отдельные участки вдоль юго-восточного края имеют глубины 77-78 м (Литвин, 1987). Согласно предыдущим исследованиям, опирающимся на единичные галсы сейсмоакустического и эхолотного профилирования, поверхность дна порога отличается четко выраженным мелко-холмисто-грядовым рельефом (Литвин и др., 1972, Свиридов, 1975; Sviridov, Emelyanov, 2000; Rudenko, 2002). Здесь обнажаются или прикрыты тонким слоем современных осадков ледниково-аккумулятивные формы моренных отложений, покрывающих практически непрерывным чехлом дочетвертичное ложе моря. По (Гелумбаускайте и др., 1991) участки холмистого рельефа относятся к маргинальным образованиям ледниковых отложений, относящимся к Пандиверской фазе отступления ледника. В то же время по (Sviridov, Emelyanov, 2000) они относятся к конечной морене Лужской фазы. По данным (Литвин и др., 1972) рыхлые осадки лишь частично заполняют понижения и местами облекают холмы и гряды моренного рельефа.

В научно-исследовательских рейсах НИС «Шельф» (2010 г.) и НИС «Профессор Штокман» (2011 г.) на акустических записях однолучевого эхолота на Гданьско-Готландском пороге были так же записаны квазирегулярные формы холмисто-грядового рельефа (Рисунок 40). Было отмечено, что большинство понижений между холмами регулярно повторяется на эхограммах, имеет схожую форму и среднюю глубину около 2 м. Подобные формы моренных обнажений на поверхности дна Слупской Банки в южной части Балтийского моря были интерпретированы как морены Де Геера (Uścińowicz, 2010). Однако, имеющихся сейсмоакустических и однолучевых эхолотных данных было недостаточно, чтобы определить генезис квазирегулярных форм моренного рельефа Гданьско-Готландского порога как морены Де Геера. До сих пор этот вопрос оставался открытым.

Впервые на Гданьско-Готландском пороге (участок Р3, Рисунок 5) по результатам многолучевой эхолотной съемки была построена подробная цифровая батиметрическая модель рельефа дна на глубинах 62-111 м (Рисунок 41). В общем

плане дно Гданьско-Готландского порога представляет собой слабонаклонную равнину.

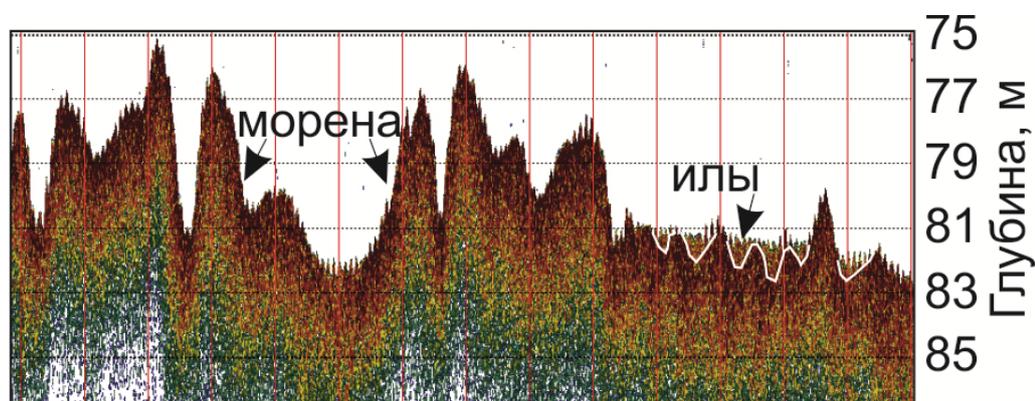


Рисунок 40 – Пример профиля однолучевого эхолота Simrad EA400SP (38 кГц) на Гданьско-Готландском пороге в рейсе НИС «Профессор Штокман» в 2010 г.

Составлено автором.

Благодаря площадным многолучевым эхолотным (Рисунок 42) и сонарным (Рисунок 43) съемкам впервые было выявлено, что холмистый рельеф обусловлен многочисленными протяженными бороздами, а не холмами, как это представлялось ранее. На записях многолучевого эхолота борозды представляют собой вытянутые локальные понижения рельефа (Рисунок 42). На записях ГЛБО они представляют собой структуры темного цвета (Рисунок 43). Черный цвет на мозаике характеризует сильное поглощение акустического сигнала, связанное с понижениями в рельефе и илистыми отложениями на поверхности дна борозд. Светлые участки характеризуют интенсивное обратное рассеяние сигнала на жестком и шероховатом дне, представляющем собой грубообломочные отложения. Профили однолучевого эхолота подтверждают, что дно борозд заполнено акустически прозрачными илистыми отложениями, а участки между ними характеризуются интенсивным отражением акустического сигнала от плотных отложений (Рисунок 40).

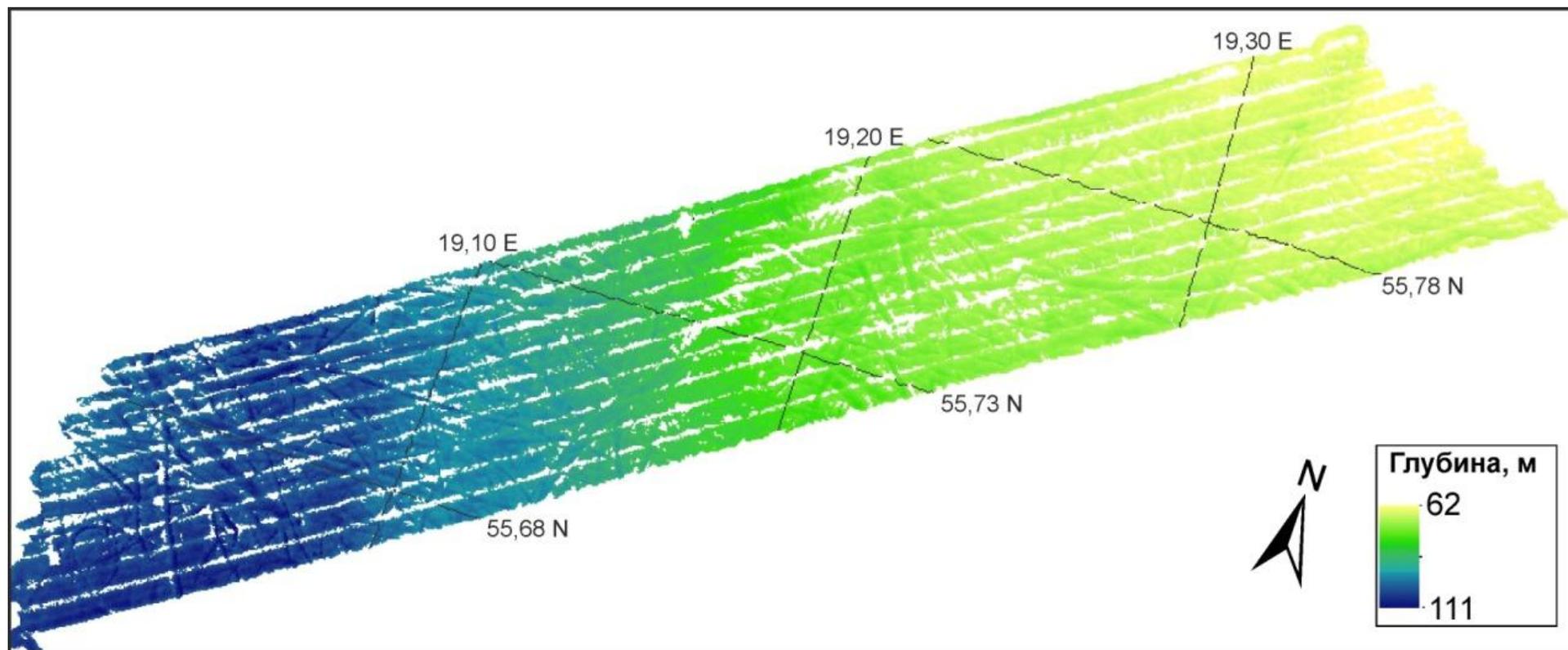


Рисунок 41 – Цифровая модель рельефа дна на Гданьско-Готландском пороге (участок P3)

Составлено автором.

Дно большей части района исследования изрыто большим количеством хаотических борозд протяженностью от десятков метров до десятков километров. У большинства борозд невозможно проследить их начало и конец, поскольку они пересекаются и накладываются друг на друга, а так же большинство из них выходит за пределы района исследования (Рисунок 43, а). На участках наложения борозд формируются широкие отрицательные формы рельефа - ямы (Рисунок 43, б).

Направление борозд хаотичное, с преобладающим направлением с запада-северо-запада на восток-юго-восток. Большинство борозд по мере распространения незначительно меняет свою траекторию. Однако встречаются борозды, которые на некотором участке плавно (Рисунок 43, с) или резко (Рисунок 43, d) меняют свое направление на $20-180^{\circ}$.

Ширина борозд варьируется от 1 до 300 м, большая часть из них – 20-60 м. Глубина борозд от 1 до 10 м, большая часть из них – 2-4 м. Большинство борозд на всем протяжении имеет относительно постоянную ширину и глубину. Ширина и глубина некоторых борозд по мере распространения может значительно увеличиваться/уменьшаться, сохраняя свое генеральное направление (Рисунок 43, б). Начало/конец борозд может характеризоваться резким увеличением или уменьшением ширины и глубины (Рисунок 43, e, f).

В поперечном сечении борозды имеют U или V-образный профиль, иногда со сложной формой откосов (Рисунок 44). Как правило, V-образную форму имеют борозды небольших размеров глубиной 1-2 м. Большинство борозд по краям имеет валы высотой 0,5-2 м (Рисунок 42, а). Некоторые борозды заканчиваются валом высотой от 0,5 до 6 м (Рисунок 42, б). Валы имеют такую же акустически непрозрачную структуру, как и поверхность дна между бороздами. Редко встречаются борозды, которые распространяются параллельно друг другу и на поперечном профиле имеют форму W (Рисунок 42, а).

В северной части участка (зона I) на глубинах 90-105 м борозды наиболее ярко выражены на мозаике сонарных записей (Рисунок 43, а). Здесь преобладают крупные борозды шириной 60-170 м и глубиной 3-5 м. Самая крупная из них находится в северном углу зоны I шириной 300 м и глубиной 10 м. В начале (конце) некоторых борозд наблюдаются депрессии рельефа (ямы) неправильной

формы (близкой к овальной) шириной 300-800 м и глубиной в среднем около 4 м (Рисунок 43, f). На данных глубинах все депрессии (борозды и ямы) частично заполнены илистыми отложениями, что делает их хорошо различимыми на сонарных записях.

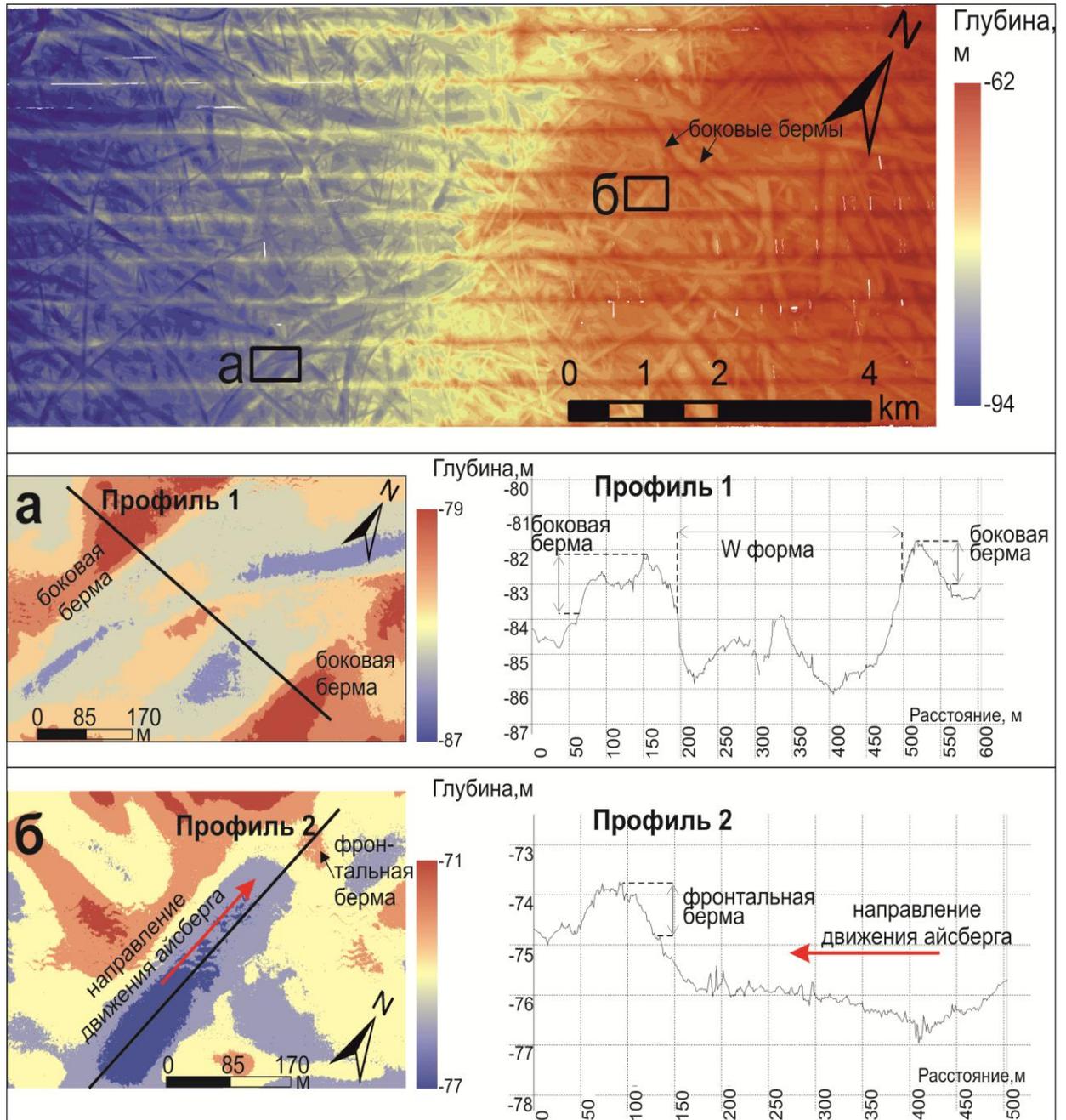


Рисунок 42 – Многолучевая батиметрическая съемка на Гданьско-Готландском пороге в 2015 г. **а** Пример W-образного поперечного батиметрического профиля борозды, ограниченной боковыми бермами. **б** Пример продольного батиметрического профиля борозды, заканчивающейся фронтальной бермой
Составлено автором.

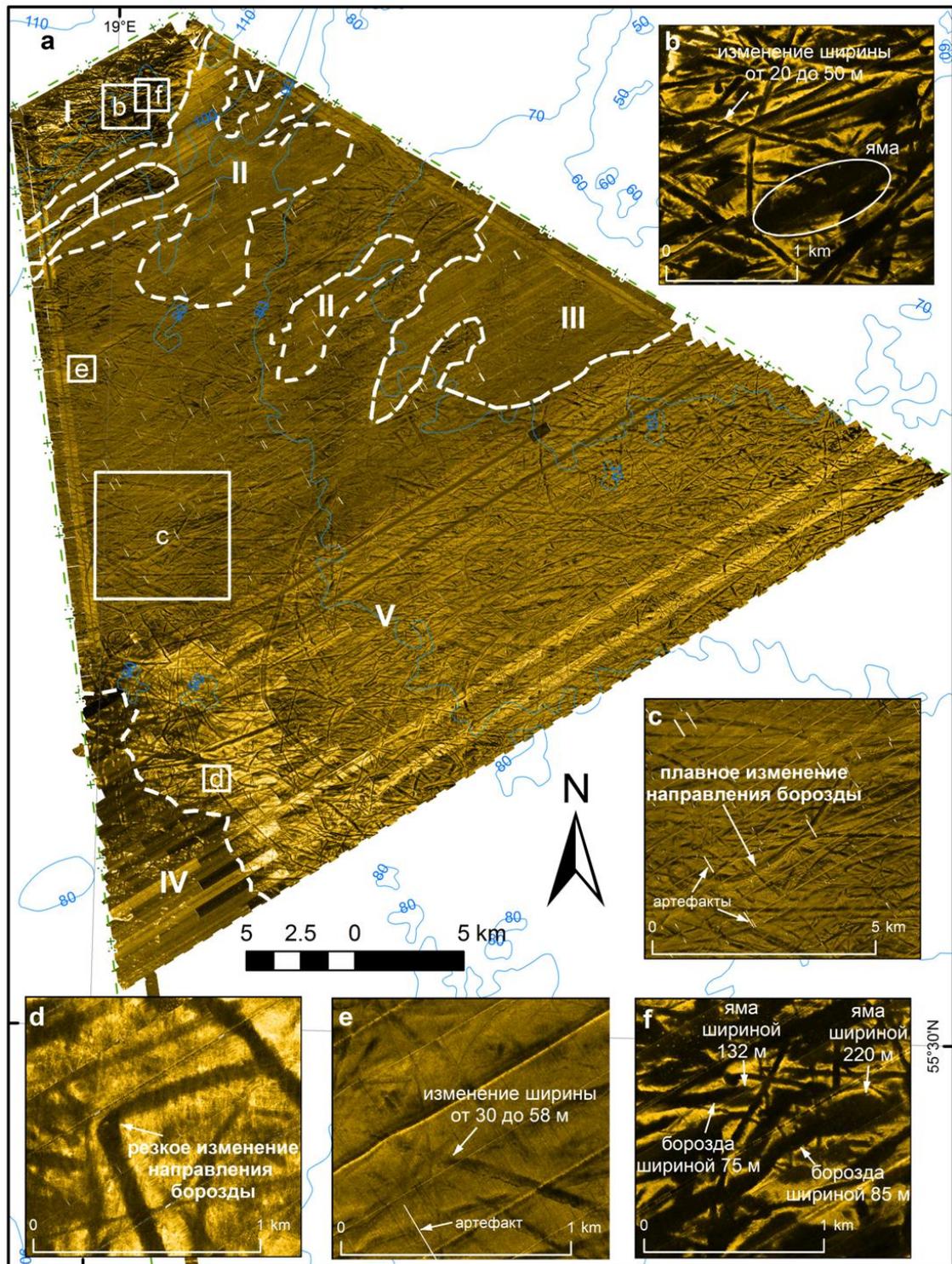


Рисунок 43 – **a** Мозаика гидролокации бокового обзора на Гданьско-Готландском пороге в 2015–2016 гг.; *I–V* морфологические зоны. **b–f** Примеры. **b** Резкое изменение ширины борозды и широкая яма в месте многочисленного пересечения борозд. **c** Плавное изменение направления борозды. **d** Резкое изменение направления борозды. **e** Резкое изменение ширины борозды в начале ее формирования. **f** Широкие ямы в конце борозд

Составлено автором.

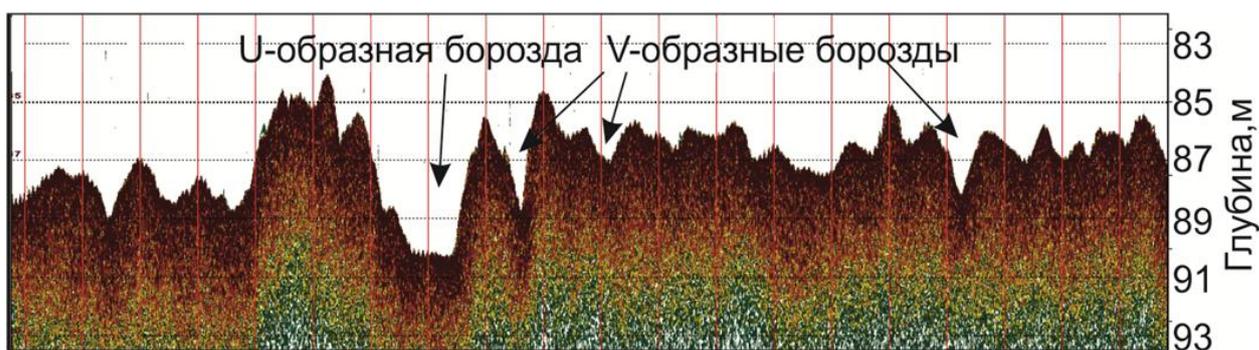


Рисунок 44 – Примеры U и V-образных борозд на эхолотном профиле
Составлено автором.

В северной и центральной части района исследования (зона II, Рисунок 43, а) на глубинах 85-110 м наблюдаются широкие вытянутые плавные понижения в рельефе дна, не имеющие четких границ. В них борозды практически отсутствуют. В самой мелководной части участка на склоне Клайпедской банки на глубине более 65 м (зона III) борозды вырождаются (Рисунок 43, а). Дно покрыто грубообломочными отложениями (пески, галька, гравий, валуны) и отсутствует наиллок, который характерен для всего района исследования.

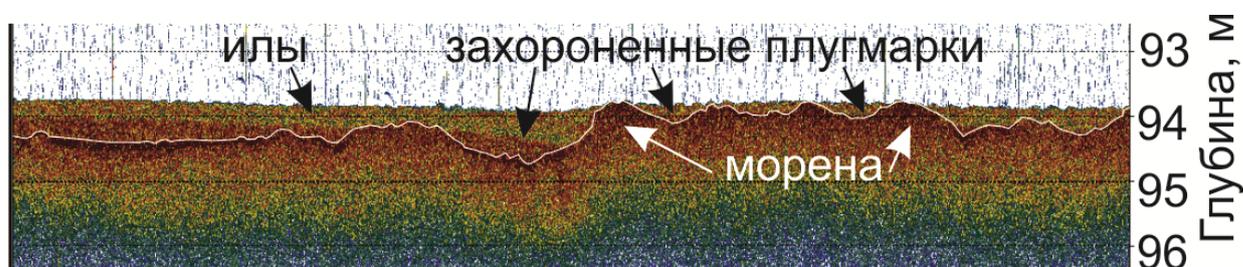


Рисунок 45 – Пример эхолотного профиля захороненных под илистыми отложениями борозд

Составлено автором.

Юго-западная часть участка на глубинах 85-90 м (зона IV, Рисунок 43, а) имеет ровную поверхность дна, покрытую илистыми отложениями. Однако в местах выклинивания илов борозды проявляются. На профилях однолучевого эхолота отмечается продолжение этих борозд под илистыми осадками (Рисунок 45).

Наибольшая плотность борозд наблюдается в центральной части района исследования на глубинах 70-90 м (зона V, Рисунок 43, а). Здесь преобладают

протяженные борозды относительно небольших размеров шириной 20-100 м и глубиной 1-3 м. Самая крупная из них с W-образным поперечным профилем имеет ширину 300 м и глубину 3 м (Рисунок 42, а).

По данным гидролокации бокового обзора и гранулометрического анализа проб донных отложений впервые было выполнено крупномасштабное (1:50 000) литологическое картирование, которое показало, что донные отложения в районе исследования в основном представлены тремя типами субстрата (Рисунок 46): илами, песками с гравием, валунами и миктитами – алевропелиты с песками, галькой, гравием и валунами.

Илы заполняют борозды (Рисунок 47), а также в виде наилка покрывают маломощным слоем 1-3 см дно практически всего рассматриваемого района. Они представлены алевро-пелитами от серо-зеленого до темно-серого цвета с запахом сероводорода и с примесью песчаного и гравийного материала. Илы плохо сортированы и имеют средний размер частиц 0,05 мм.

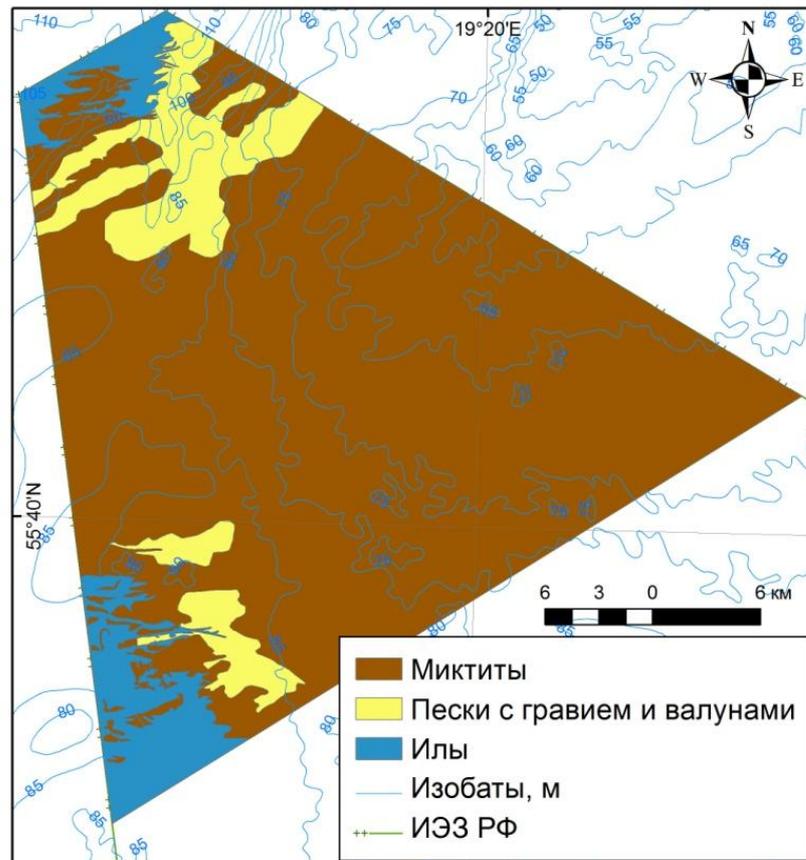


Рисунок 46 – Литологическая карта Гданьско-Готландского порога
Составлено автором.

Пески от серого до желтого цвета имеют различный гранулометрический состав от тонкозернистых до грубозернистых с высоким содержанием илистых фракций и включениями гравийной и валунной размерностей. Средний размер частиц составляет 0,3 мм. Такие осадки распространены в широких депрессиях центральной части района исследования (зона II, Рисунок 43, а) на глубинах 70-85 м, где они представлены на всех горизонтах дночерпательных проб (до 25 см). В остальной части района пески с гравием перекрывают маломощным слоем нижележащие глины и отобраны только в поверхностных горизонтах (0-5 см). Зачастую пески покрыты тонким наилком, который попадает в анализируемую пробу, вследствие чего в образцах повышается содержание илистых фракций и ухудшается сортировка осадка.

Большая часть района исследования в подповерхностных горизонтах (> 5 см) представлена *миктитами* – глинами от серого до желтого и красного цвета, в большинстве случаев с включениями песка и гравия. Многокомпонентные осадки являются наиболее разнообразными по гранулометрическому составу, в которых преобладающими могут быть как гравийно-галечные, так и глинистые фракции. По сравнению с другими типами донных отложений, они характеризуются максимальным средним значением размера частиц 0,45 мм и высокой изменчивостью гранулометрического состава. Минимальное среднее значение 0,002 мм встречается в гомогенных глинистых отложениях, а максимальное 3,1 мм – в образцах с преобладанием гравийно-валунных отложений.

Во всех рассмотренных осадках гравелистые фракции зачастую представлены железо-марганцевыми конкрециями (Рисунок 48, а). На поверхности дна Гданьско-Готландского порога широко распространены железо-марганцевые корки и многочисленные валуны (Рисунок 48, б, в).

Генезис борозд

Согласно полученным литологическим данным дно Гданьско-Готландского порога характеризуется моренными отложениями со сложным гранулометрическим составом и плохой сортировкой. Ледниковые отложения состоят из миктитов и водно-ледниковых осадков, состоящих из разнозернистых песков с гравием. Гомогенные глины с низким содержанием песков и гравия являются ледниковыми и позднеледниковыми отложениями Балтийского

ледникового озера (Блажчишин, 1998; Sviridov, Emelyanov 2000). Подобные краевые ледниковые образования были описаны в юго-восточной части Балтийского моря (Uścińowicz, 1999). Выходы конечной морены на морском дне были так же отмечены на соседней Клайпедской банке (Gelumbaускаite, 2009). Широко распространенные на пороге гравий и валуны входят в состав моренных отложений (Emelyanov, 2002), а так же являются материалом ледового и айсбергового разноса (Lisitzin, 2002). Таким образом, обнаруженные борозды были образованы на плотных позднеплейстоценовых отложениях.

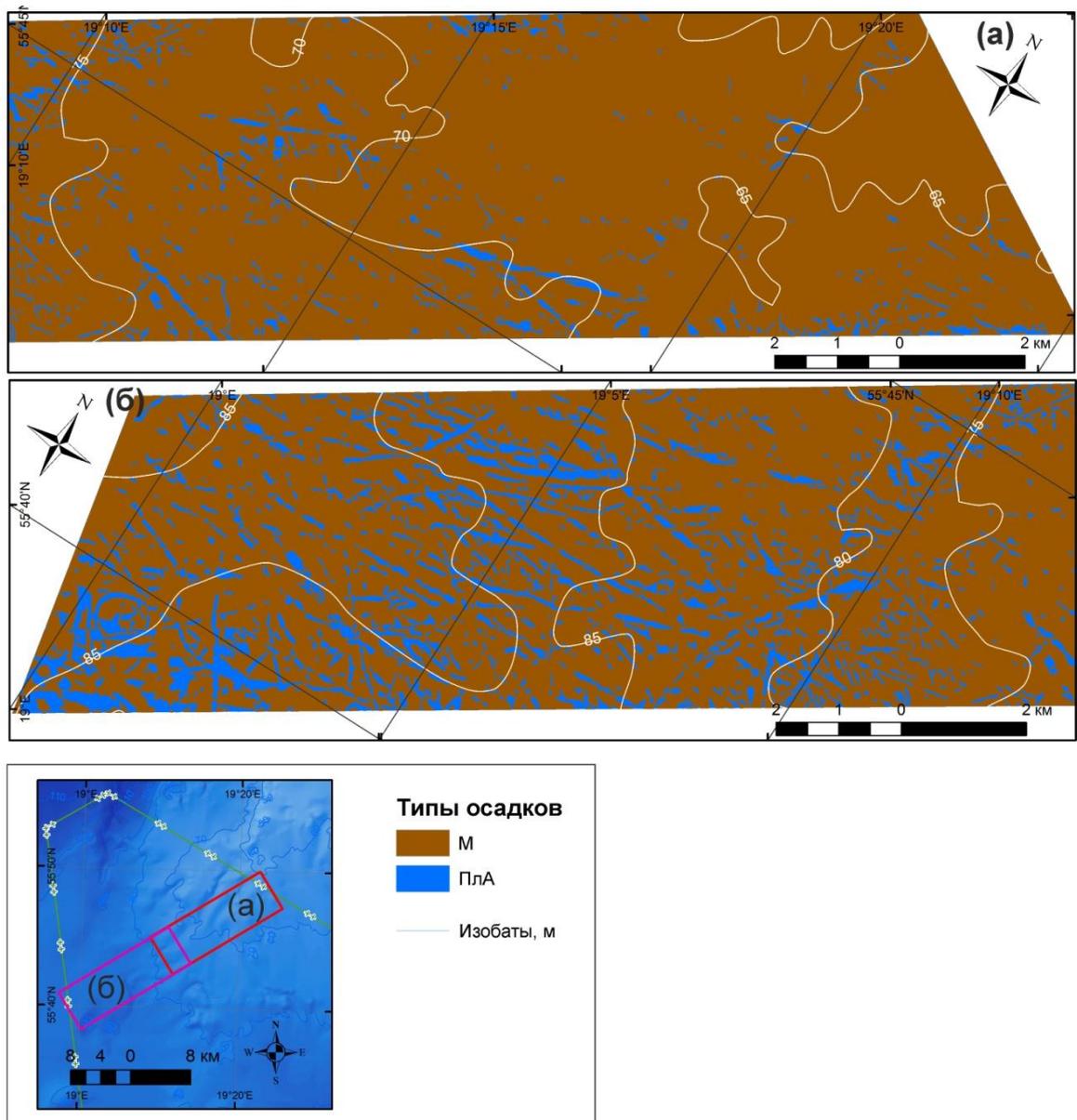


Рисунок 47 – Донные отложения на ключевом участке Р3. Типы осадков: М – миктиты (галька, песок, алевропелиты); ПЛА – пелиты алевритовые
Составлено автором.

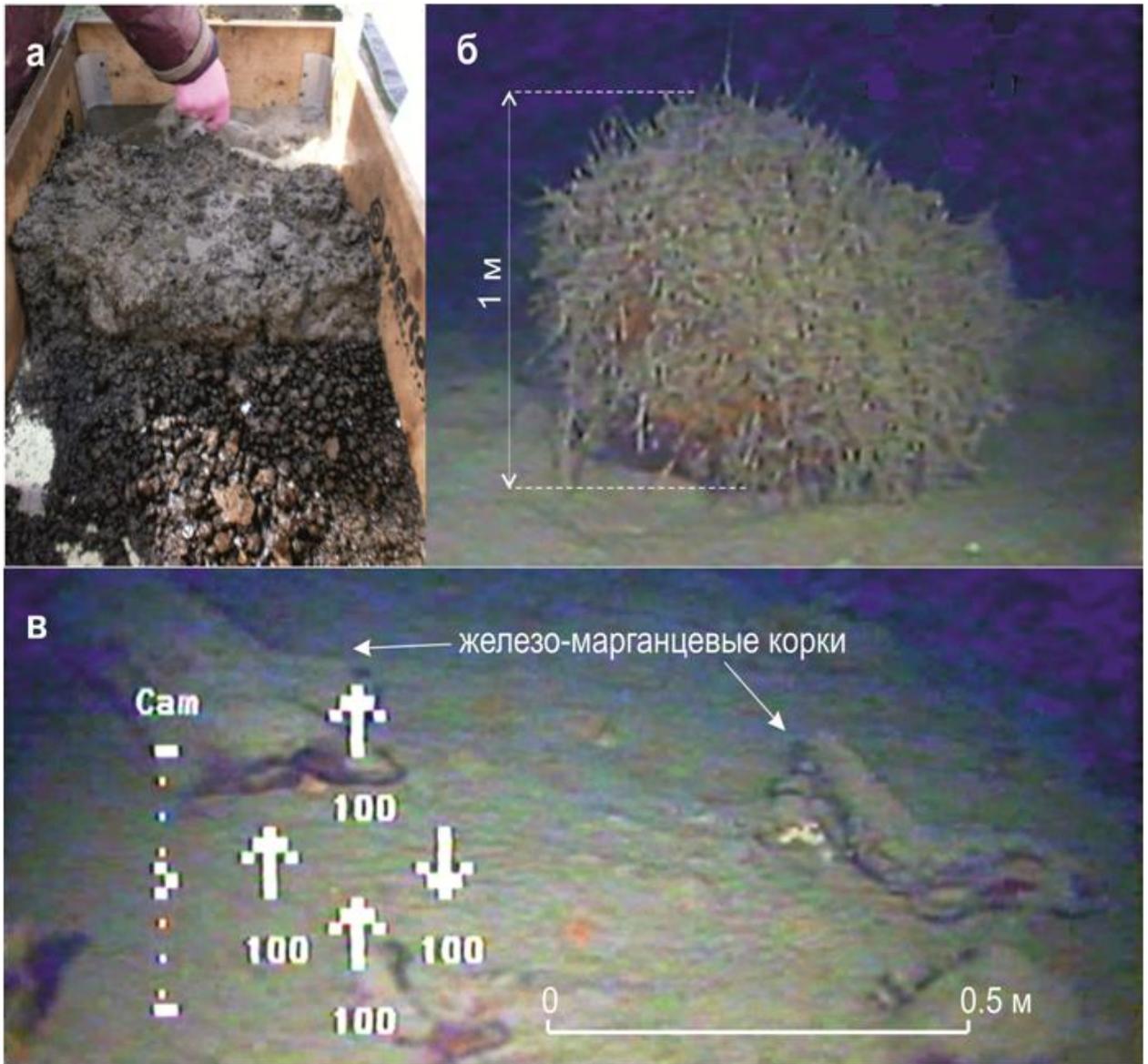


Рисунок 48 – Фотографии дна и донных отложений, полученные на глубине 92 м в 2016 г: **а** железо-марганцевые конкреции в дночерпательной пробе; **б,в** фотографии дна, полученные с помощью ТНПА СуперГНОМ: **б** валун; **в** железо-марганцевые корки

Составлено автором.

В предыдущих публикациях отсутствует информация о таких бороздах на поверхности Гданьско-Готландского порога. Более того, они никогда не упоминались в геоморфологических публикациях по юго-восточной части Балтийского моря.

Локальные депрессии на поверхности дна теоретически могли образоваться в результате как техногенных, так и природных экзогенных или эндогенных

процессов. Техногенное происхождение борозд исключено, т.к. в данной акватории не проводилось каких либо масштабных работ по выпаживанию дна и забору грунта. Единственной хозяйственной деятельностью в данном районе является рыболовство. При прохождении донного трала на дне остаются борозды от утяжеляющих грузов и траловых досок. Однако на плотном грунте трал не может оставить такие глубокие и широкие борозды. Следы от донного траления присутствуют на дне Гданьско-Готландского порога и хорошо различимы на записях ГЛБО (Рисунок 49). Они имеют значительно меньшие размеры по сравнению с описываемыми бороздами.

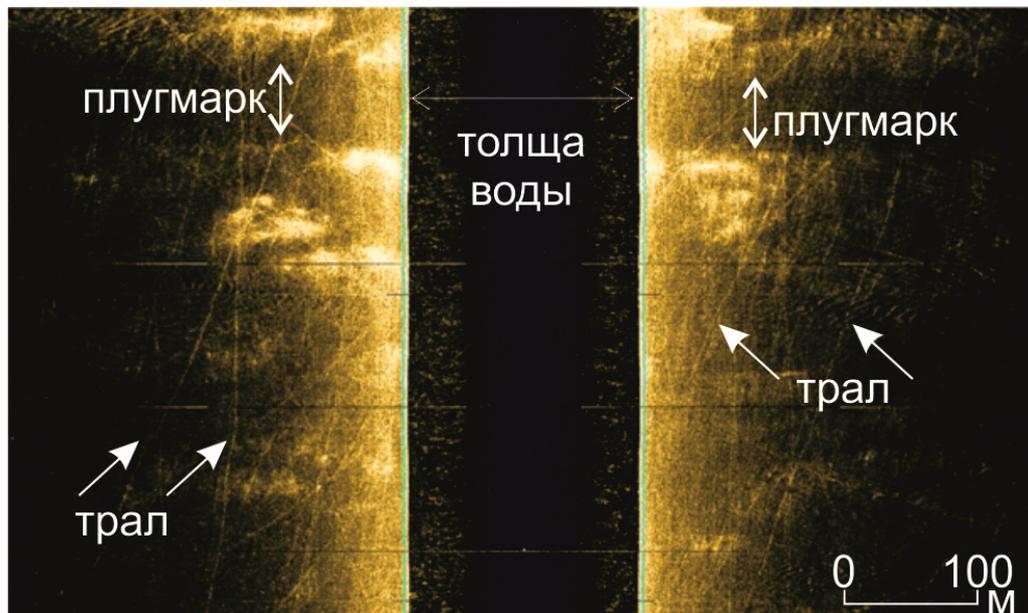


Рисунок 49 – Сопоставление плугмарков и следов донного траления на сонарной записи

Составлено автором.

Эндогенное происхождение борозд опровергается полученными ранее сейсмоакустическими профилями (Sviridov, Emelyanov, 2000), где на профилях отсутствуют характерные признаки разломов и пустот, которые могли бы стать причиной локальных депрессий дна. Покмарки, связанные с выходом газа из глубинных слоев Земли, имеют несопоставимые размеры и не формируются в морене.

Наблюдаемые формы рельефа не могут быть моренами Де Геера – осадочными хребтами, сформированными в результате сезонного дампинга

обломочного материала с окраины ледника – поскольку обнаруженные борозды являются депрессиями, а не повышениями. Они так же не могут являться результатом подледниковой флювиальной денудации, такой как палеоврезы в юго-восточной части Балтийского моря по (Gerok et al., 2014). Последние были сформированы в осадочных коренных породах со средними глубинами врезов от 50 до 100 м, что совершенно несовместимо с исследуемыми бороздами глубиной 2-4 м и сформированными в позднеледниковых отложениях. Так же исключено эрозионное происхождение борозд под воздействием придонных течений (включая палеотечения), по причине их хаотического распространения. Наличие тонкого слоя илистых отложений на поверхности дна так же свидетельствует об отсутствии современных эрозионных процессов в районе исследования.

В наше время обнаруженные борозды не могли быть сформированы в результате ледовой экзарации на Гданьско-Готландском пороге. Современное Балтийское море является незамерзающим (за исключением Финского и Ботнического заливов). Однако очевидна схожесть геоакустических записей борозд на дне порога (Рисунок 42-Рисунок 47) с линейными и криволинейными бороздами, ассоциированными с эрозионным воздействием на дно дрейфующих айсбергов и крупных торосов (Рисунок 50), известных как айсберговые плугмарки (ploughmarks) (Woodworth-Lynas et al., 1991). Они выпахиваются касающимися дна килями айсбергов, движущихся по течению. По краям борозд как правило формируются боковые бермы, а перед килем айсберга – фронтальный вал (Рисунок 51). Такие особенности рельефа дна ранее изучались с использованием многолучевых эхолотов и гидролокаторов бокового обзора на шельфах высоких широт (Barnes, Lien 1988; Dowdeswell et al. 1993, 2010; Davies et al. 1997; Syvitski et al. 2001; Dowdeswell, Vamber 2007; Jakobsson 2016). Подобные борозды ледового выпахивания широко распространены в зонах ледового воздействия на арктическом шельфе (Lewis and Blasco 1990; Hequette et al. 1995; Ogorodov et al. 2013; Ananyev et al. 2016), и даже в северной части Каспийского моря (Ogorodov, Arkhipov, 2010). В Норвежском море борозды ледовой экзарации были обнаружены с помощью 3Д-сеймики под слоем четвертичных отложений. Они были сформированы айсбергами около 20 000 лет назад во время последнего ледникового максимума (Dowdeswell, Ottesen, 2013).

Кроме того, в Балтийском море реликтовые плугмарки ранее были обнаружены в 30 км восточнее о. Готланд (Elhammer et al. 1988), а так же в Северо-Балтийской, Форе, Готландской, Борнхольмской и Арконской впадинах по трассе прохождения газового трубопровода «Северный поток» (Mironyuk, Verbitskaya, 2010). Однако в отчетах инженерных изысканий было высказано только предположение о том, что обнаруженные протяженные депрессии являются реликтовыми плугмарками. Специальные исследования не проводились, и обоснование их генезиса ранее не было опубликовано. Таким образом, на основании приведенных выше аргументов, обнаруженные на Гданьско-Готландском пороге отрицательные микроформы рельефа, интерпретируются как плугмарки, сформированные айсбергами и крупными торосистыми образованиями.

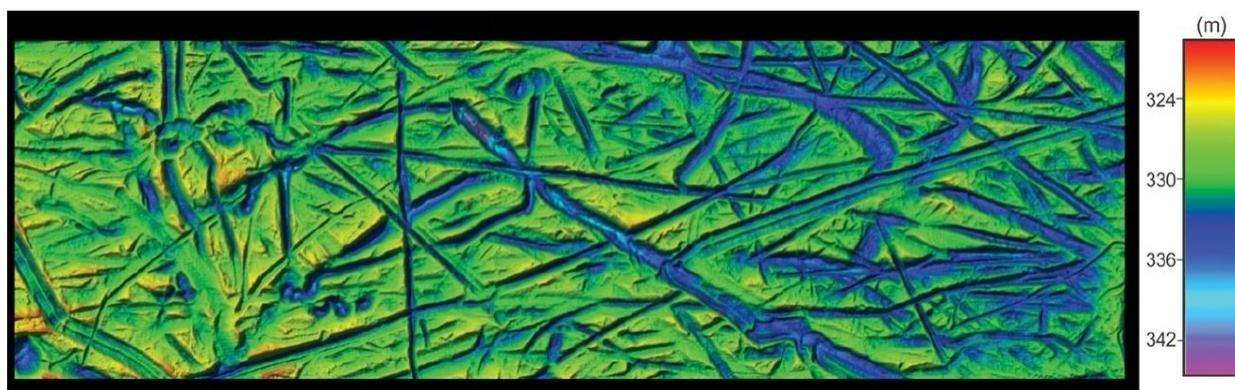


Рисунок 50 – Пример многолучевой батиметрии с бороздами айсбергового выпахивания в Норвежском море

Источник: (Jakobsson, 2016).

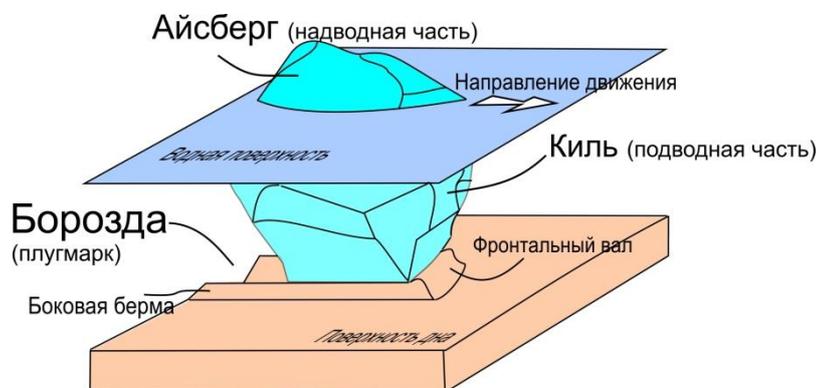


Рисунок 51 – Механизм формирования плугмарков

Составлено автором по (Ogorodov et al. 2013).

История формирования плугмарков

Противоречие между наблюдаемыми айсберговыми плугмарками и отсутствием в современном Балтийском море льда (особенно айсбергов) может быть разрешено, если принять во внимание историю Балтийского моря, которая началась около 17-15 тыс. лет назад вследствие таяния и отступления Скандинавского ледника с формированием приледниковых озер (Vjörck, 2008). Сочетание в пространстве и времени эвстатического колебания уровня моря и изостатического подъема земной коры привело к трансгрессиям и регрессиям бассейна, которые определили стадии развития Балтийского моря.

На ранней стадии БЛО граница ледяного щита находилась в непосредственной близости от Гданьско-Готландского порога (Рисунок 52) и айсберги были широко распространены (например, Lagerlund, 1987; Houmark-Nielsen, Malmberg Persson, Lagerlund, 1990; Vjörck, 1995). В это время уровень БЛО был на 30 м ниже современного уровня (Uscinovicz, 2006), следовательно, глубины Гданьско-Готландского порога в районе исследования составляли около 35-75 м. На таких глубинах борозды могли оставлять как айсберги, так и крупные торосистые образования. Так, например, в Арктике однолетний и многолетний лед выпахивает плугмарки на глубинах от 35 до 75 м соответственно (Огородов, 2012). Однако для ранней стадии БЛО аналогия с Арктикой не совсем верна, поскольку озеро было слишком мало по сравнению с арктическим бассейном, где торосы образуются из морского льда, поступающего со всего Северного Ледовитого океана. С точки зрения площади покрытия морским льдом более всего подходит сравнение с современным Каспийским морем, однако здесь борозды выпахивания от морского льда обнаружены лишь на мелководье с глубинами 3-12 м (Ogorodov, Arkhipov, 2010). Таким образом, на ранней стадии БЛО только айсберги могли формировать плугмарки на Гданьско-Готландском пороге.

В ходе отступления Скандинавского ледника 15-12 тыс. лет назад его границы постепенно отодвигались к южной окраине современного Ботнического залива (Рисунок 52). Айсберги откалывались от ледникового щита и дрейфовали в южном и юго-западном направлениях к Готландской и Гданьской впадинам в соответствии с системой поверхностной циркуляции, которая как на ранних стадиях Балтийского моря, так и сейчас, определяется преобладающими в средних

широтах западными ветрами. Пороги между суббассейнами БЛО были значительно глубже, чем современные (около 200 м) и не препятствовали проникновению айсбергов в центральную часть озера. Большая часть борозд имеет преобладающее направление северо-запад – юго-восток (Рисунок 52). Хаотическая ориентация плугмарков отражает изменение направления движения айсбергов под влиянием различных ветровых течений. Слив вод БЛО через пролив возле г. Биллинген (Швеция) не мог значительно повлиять на систему поверхностной циркуляции вод и ограничить движение айсбергов к Гданьско-Готландскому порогу.

Вследствие пресноводности и холодного климата поверхность БЛО в зимние периоды была покрыта льдом (Jöns, 2011). Следовательно, увеличение площади поверхности БЛО создавало благоприятные условия для роста торосов значительных размеров. В стадию БЛО уровень водоема падал дважды (примерно 13 и 11,7 тыс. лет назад, Uscinovicz, 2006) достигая -52 м относительно современного уровня в результате таяния ледника и прорыва вод БЛО через пролив возле г. Биллинген. Глубины на Гданьско-Готландском пороге падали до значений 13-53 м. Воздействие на дно относительно крупных (высотой 70-100 м), но редких айсбергов уменьшалось, т.к. они останавливались на больших глубинах Готландской впадины. На дно порога опускались многочисленные, но относительно небольшие по размерам айсберги и торосы. Во время этих событий вклад ледового выпаживания торосами значительно увеличивался.

На стадии Иольдиевого моря южная граница ледника находилась в бассейне Ботнического залива, а уровень водоема повысился и составлял около 40 м ниже современного (Bjork, 2008, Uscinovicz, 2006). Удаленность ледника и уменьшение глубин в северной части моря вследствие изостазии ограничивали возможность транзита айсбергов к Гданьско-Готландскому порогу. Кроме того, вследствие потепления уменьшалась продолжительность существования сезонного льда, что привело резкому снижению возможности контакта торосистых образований с дном бассейна.

На стадии Анцилового озера (около 10,7 тыс. лет назад) Скандинавский ледник отступил в северную часть Ботнического залива (Bjork, 2008). Окраина ледника отделялась от центральной части озера порогом глубиной 10-20 м с узким

проливом шириной около 30 км в Аландском море (Рисунок 52). Поступление айсбергов в центральную часть Анцилового озера прекратилось.

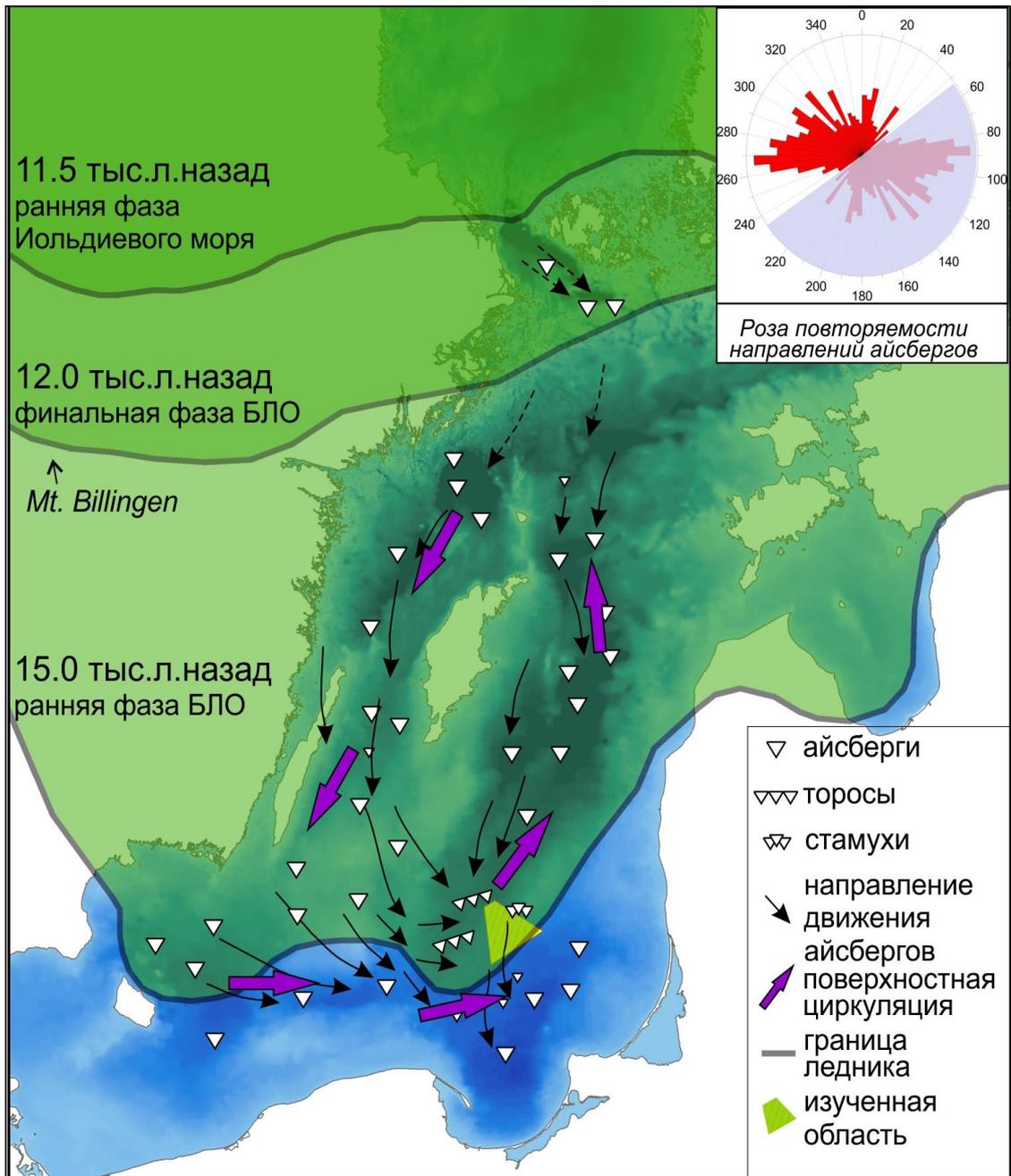


Рисунок 52 – Схема границ распространения ледника в разные периоды и направления движения айсбергов

Составлено автором.

Типичные глинистые осадки БЛО, Иольдиевой и Анциловой стадий, мощностью до нескольких метров в прилегающих Гданьской и Готландской впадинах (Sviridov, Emelyanov 2000; Emelyanov 2002), практически отсутствуют на

Гданьско-Готландском пороге. Это может быть объяснено как малыми глубинами порога по сравнению с прилегающими впадинами, так и значительной удаленностью порога от берега и связанным с этим снижением объемов поставки осадочного вещества. Кроме того, глины БЛО вероятно были смешаны с подстилающей мореной в результате процессов механического воздействия на дно килей айсбергов (например, Dowdeswell et al. 1994).

В результате Литориновой трансгрессии глубины Гданьско-Готландского порога продолжали увеличиваться. Удаленность района исследования от источников осадочного материала привела к нестабильной аккумуляции осадочного материала в виде «наилка» с песком и гравием, нетипичными для литориновых илов впадин. Наличие железомарганцевых конкреций и корок свидетельствует о низких скоростях осадконакопления (например, Trokowitz, 1998). Однако плугмарки служат ловушками для осадочного материала, здесь мощность илов увеличивается. Этот феномен согласуется с исследованиями Свиридова и Емельянова (Sviridov, Emelyanov, 2000), описавшими заполнение депрессий акустически прозрачными осадками. С увеличением глубины порога до 100 м мощность голоценовых илов в бороздах возрастает.

Таким образом, учитывая историю Балтийского моря, айсберговые плугмарки, изученные на дне Гданьско-Готландского порога, являются реликтовыми. Наиболее вероятным временем их образования является период быстрого таяния Скандинавского ледового щита около 13,2 – 11,7 тыс. лет назад. Нестабильные эрозионно-аккумулятивные процессы на пороге с 11,7 тыс. лет назад до настоящего времени способствовали сохранению айсберговых плугмарков.

Геоморфологические особенности плугмарков

Отличительные черты микрорельефа дна Гданьско-Готландского порога, схожие с современными формами айсбергового и ледового выпаживания, свидетельствуют о ледовом генезисе плугмарков. Морфологические особенности борозд отражают процессы их формирования.

При первоначальном контакте киля с дном площадь соприкосновения небольшая. Под воздействием более теплой, чем воздух воды нижняя часть киля айсберга (тороса) постепенно подтаивает, становится рыхлой и начинает

разрушаться. В определенный момент нижняя часть киля отламывается, баланс архимедовой и силы тяжести нарушается, в результате происходит осадка айсберга, образуя более глубокую и широкую борозду (Огородов, 2012). Такие процессы происходили как в начале формирования борозды, так и в середине по мере продвижения айсберга, и прослеживаются на дне Гданьско-Готландского порога (Рисунок 43, b, e). Таким образом, расширение борозды является индикатором направления движения льда.

По мере продвижения впереди киля айсберга формируется фронтальный вал (берма) (Nequette et al., 1995). Фронтальный вал в конце плугмарка указывает на место остановки и разрушения айсберга (Рисунок 42, b). Некоторые борозды оканчиваются широкими ямами, сформированными стамухами или севшими на дно айсбергами (Wadhams, 2000; Огородов, 2012). На Гданьско-Готландском пороге локальные широкие депрессии могли образоваться в периоды резкого снижения уровня БЛО, когда айсберги и стамухи садились на дно (Рисунок 43, f).

При взаимодействии киля айсберга с морским дном по краям борозды выпахивания формируется обваловка из подстилающих донных отложений (например, Dowdeswell et al. 1993; Nequette et al. 1995; Огородов, 2012). Подобные валы хорошо различимы по краям плугмарков Гданьско-Готландского порога (Рисунок 42, a).

Прямолинейная направленность большинства борозд, не зависящая от изменений рельефа дна, свидетельствует о значительной массе ледовых образований. Вероятно, некоторые айсберги и торосы дрейфовали в составе огромных полей многолетнего льда. Борозды, которые на своем протяжении меняют свое направление (Рисунок 43, a, c, d), сформированы в результате изменения направления дрейфа льда и так же не зависят от рельефа дна порога.

Поперечный профиль борозд выпахивания зависит от формы киля айсберга (Огородов, 2012). Если киль имеет остrokонечную форму, то формируется борозда с поперечным V-образным профилем (Рисунок 44). Большинство борозд сформировано плоским килем и имеет U-образную форму (Рисунок 44). Иногда плугмарки формируются многокилевыми айсбергами (торосами) и формируют несколько параллельных друг другу борозд (Огородов, 2012). На дне Гданьско-

Готландского порога иногда наблюдаются борозды, образованные двухкилевыми льдами, которые имеют W-образный поперечный профиль (Рисунок 42, а).

Плугмарки отсутствуют или слабо проявляются на широких пологих депрессиях дна (с понижением глубин на 5-10 м) в северной и центральной части района исследования (зона II, Рисунок 43, а). Поверхность дна здесь покрыта тонким слоем песков с гравием, представляющим перемытые ледниковые отложения (Жамойда и др., 2010). Отсутствие наилка маркирует зоны «нулевой» седиментации или транзита осадочного материала. Слабая сохранность плугмарков в таких зонах может быть обусловлена эрозионно-аккумулятивными процессами на ранних стадиях развития Балтийского моря. Данные участки требуют дополнительных исследований.

На глубинах менее 65 м плугмарки практически вырождаются (зона III, Рисунок 43, а). Они были уничтожены волновыми процессами в конце стадии БЛО и стадии Иольдиевого моря около 11,7-10,7 тыс. лет назад, когда уровень озера/моря был минимальным, и на данном участке глубина составляла около 10-20 м.

Ландшафтное описание

Район исследования Гданьско-Готландского порога (участок P3) находится на удалении более 100 км от берега в циркулитеральной зоне. Согласно среднемасштабной региональной карте донных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря северо-западная часть полигона преимущественно характеризуется мезогалинным I (7,5-11PSU) классом солености придонных вод, которые относятся к холодному промежуточному слою (1-4⁰C). В юго-восточной его части придонные воды мезогалинные II (11-18PSU) глубинные относительно холодные (4-7⁰C) (Рисунок 27).

В результате крупномасштабного ландшафтного картирования было выделено 7 типов урочищ (Рисунок 53), состоящих из 17 фаций (Рисунок 54).

Полидоминантный ландшафт района исследования представлен двумя доминирующими урочищами на склонах и возвышенностях, покрытых миктитами, которые распространяются на серии субпараллельных вытянутых с юго-запада на северо-восток положительных мезоформах рельефа (Рисунок 53). Такая

особенность моренного рельефа вероятно обусловлена флювио-гляциальными процессами и требует уточнения в ходе дополнительных геолого-геофизических исследований.

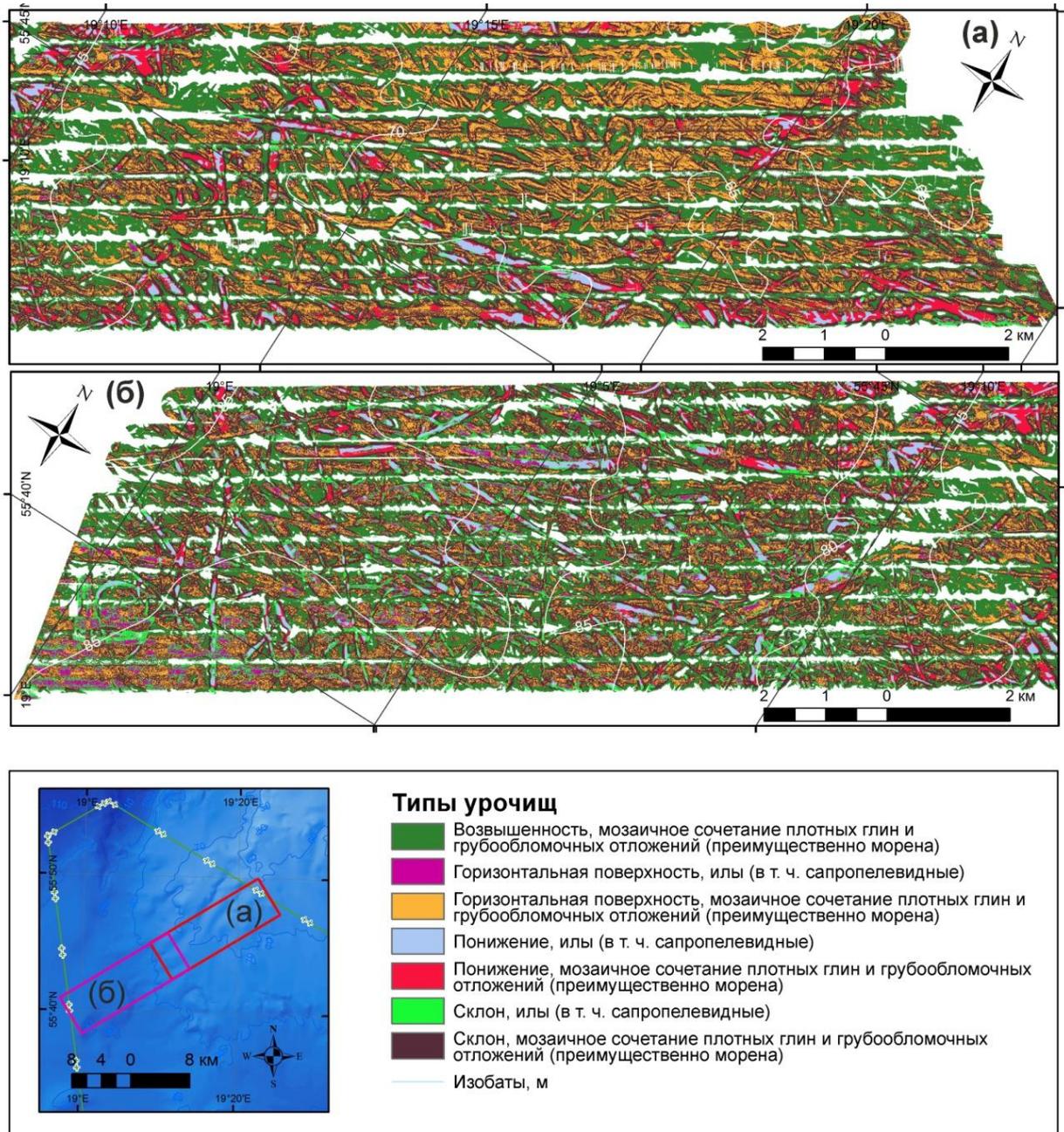


Рисунок 53 – Карта морских урочищ на Гданьско-Готландском пороге в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря

Составлено автором.

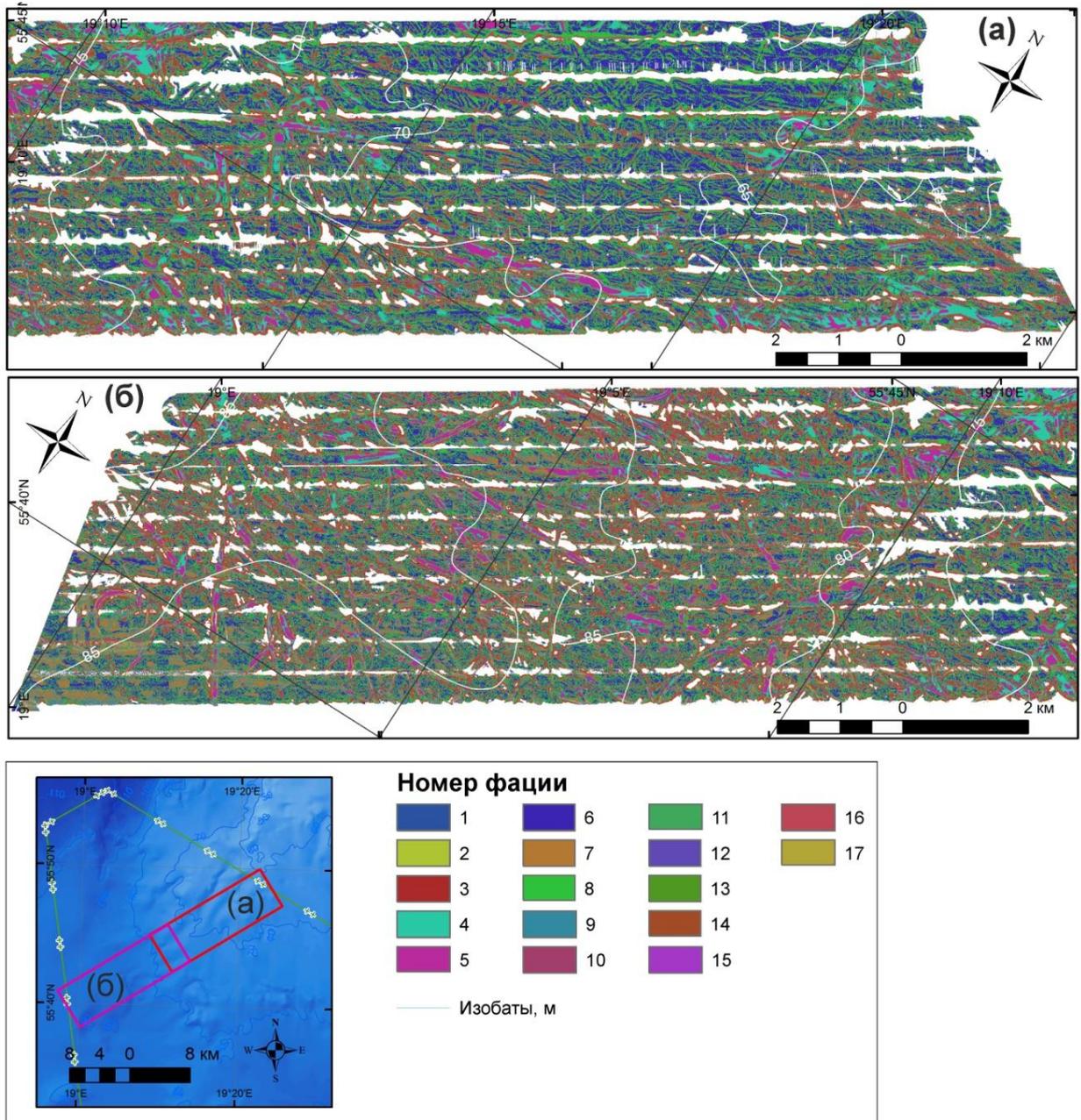


Рисунок 54 – Карта морских фаций на Гданьско-Готландском пороге в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря. Типы фаций приведены в Таблица

12

Составлено автором.

Доминирующие фации также приурочены к преобладающему типу субстрата – миктитам. Наиболее распространенные типы фаций №8 (34%) распространены на пологих склонах и №6 (24%) – на широких горизонтальных поверхностях между реликтивными плугмарками и на дне борозд (Рисунок 54). Третий по площади тип фации №16 (19%) крутых откосов маркирует склоны и боковые бермы плугмарков.

Остальные малые фации занимают всего 23% от площади района исследования и в основном характеризуются илистыми осадками в узких депрессиях, склонах и на небольших возвышенностях.

Таблица 12 – Типы ландшафтных фаций на Гданьско-Готландском пороге в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря (участок Р3)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
1	Узкая депрессия, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
2	Узкая депрессия, илы (в т. ч. сапропелевидные)
3	Латеральная депрессия на склоне, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
4	Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
5	Крупная депрессия с плоским или пологонаклонным дном, илы (в т. ч. сапропелевидные)
6	Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
7	Широкая горизонтальная поверхность за пределами прибрежного мелководья, илы (в т. ч. сапропелевидные)
8	Пологий склон, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
9	Пологий склон, илы (в т. ч. сапропелевидные)
10	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
11	Локальная возвышенность на горизонтальной поверхности, илы (в т. ч. сапропелевидные)

№ п/п	Типы ландшафтных фаций
12	Латеральная возвышенность на склоне, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
13	Латеральная возвышенность на склоне, илы (в т. ч. сапропелевидные)
14	Узкий гребень, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
15	Узкий гребень, илы (в т. ч. сапропелевидные)
16	Крутой склон/откос, мозаичное сочетание плотных глин и грубообломочных отложений (преимущественно морена)
17	Крутой склон/откос, илы (в т. ч. сапропелевидные)

Составлено автором.

3.4. Рекомендации по созданию морских охраняемых природных акваторий и проведению комплексного геоэкологического мониторинга

Рекомендации по созданию морских охраняемых природных акваторий

Основными угрозами для морских и прибрежных экосистем являются чрезмерный промысел биоресурсов, строительство в прибрежной зоне, нерегулируемый туризм, разливы нефти, инвазии чужеродных видов и др. В условиях активного развития морского природопользования в российском секторе юго-восточной части Балтийского становится крайне актуальной задача выделения наиболее важных с экологической точки зрения участков, на которых необходимо ограничить и регламентировать хозяйственную деятельность. Такие участки должны приобрести статус *морских охраняемых природных акваторий (МОПА, на англ. marine protected areas — МРА)*, которые создаются для защиты морских и прибрежных экосистем, сохранения морского биоразнообразия от негативных воздействий хозяйственной деятельности и природопользования. Международный союз охраны природы (IUCN) определяет МОПА как «любая территория, находящаяся в приливной или подводной зоне, вместе с покрывающими её водами и относящейся к ней флорой, фауной, обладающая историческими и культурными особенностями, окружающая среда, которая по закону или другим регулирующим актам подлежит полной или частичной охране» (Kelleher, 1999). В настоящее время

в мире насчитывается более 3000 МОПА, большинство из которых находится в тропических водах на коралловых рифах. Практика показала, что появление охраняемых акваторий как правило благоприятно сказывается не только на местном рыболовстве, но и имеет важное значение в рекреационных целях.

К охраняемым морским акваториям относятся: заповедники, национальные парки, заказники, памятники природы, природные парки и др. различные формы традиционных ООПТ, установленных Федеральным законом № 33 от 14 марта 1995 г. «Об особо охраняемых природных территориях». Морская акватория является федеральной собственностью, поэтому МОПА могут создаваться только на федеральном уровне. По данным WWF в Российской Федерации общая площадь морских районов, имеющих статус ООПТ, составляет 148,5 тыс. км², т.е. около 1,95% от площади шельфа. К морским и прибрежным ООПТ относятся 19 заповедников (6 из них имеют статус биосферных резерватов), 2 национальных парка, 12 федеральных заказников (http://www.wwf.ru/about/what_we_do/reserves/info/statistics). Один из национальных парков «Куршская коса» был создан в Калининградской области в целях сохранения уникальных природных комплексов. Кроме того, территория национального парка включена в Список всемирного природного наследия ЮНЕСКО.

Согласно (Мокиевский, 2000) «создание национальной системы МРА должно способствовать достижению следующих целей:

- охрана и управление участками морских экосистем, обеспечивающие их долговременное существование и сохранение генетического разнообразия в них;
- охрана исчезающих, редких и сокращающих свою численность видов и популяций, сохранение мест обитания, наиболее важных для выживания этих видов;
- охрана и управление акваториями, необходимыми для существования хозяйственно ценных видов;
- обеспечение устойчивого и комплексного использования ресурсов прибрежной зоны;

- сохранение и управление объектами истории и культуры, живописными ландшафтами морских побережий и эстуариев для настоящего и будущих поколений;

- использование морских экосистем для образования и туризма;

- проведение научных исследований в ненарушенных экосистемах или в условиях контролируемого антропогенного воздействия на них».

Ландшафтное картирование является основой для выделения морских акваторий, перспективных для создания МОПА. Относительно небольшие по площади и изменчивые ландшафты являются главными претендентами на особый охраняемый статус. По результатам регионального ландшафтного районирования в качестве наиболее перспективных для создания МОПА в российских секторах Балтийского моря, Куршском и Калининградском заливах были выделены 4 участка.

Первый участок располагается в районе м. Таран на глубинах от 0 до 50 м (Рисунок 55), где ступенчатый склон характеризуется наличием затопленных древних береговых уступов, покрытых твердым субстратом, обусловленным выходом на поверхность коренных пород. Подводные клифы представляют интерес не только с точки зрения палеогеографии как памятники природы, но и являются уникальными элементами донных ландшафтов, где отмечается увеличение численности и биологического разнообразия донных организмов (Балаян, 1992). Твердый субстрат является благоприятной средой для обрастания редкими водорослями макрофитами. По степени ограничения хозяйственной деятельности данный район попадает в категорию заказника, где разрешена любая деятельность не связанная с разрушительным антропогенным воздействием на дно и донные сообщества.

Второй участок в корневой части Куршской косы на глубинах 0-20 м (Рисунок 55) приурочен к выходам на поверхность дна реликтовых лагунных илов. По сравнению с соседними участками дна они характеризуются резким возрастанием видового состава бентосных организмов, связанного в первую очередь с высоким содержанием органики в своем составе. Основным критерием для создания МОПА на данном участке является охрана морской экосистемы, обеспечивающая их долговременное существование и сохранение генетического

разнообразия. Реликтовые лагунные илы являются одновременно памятником природы, объектом научных исследований и подводного туризма, так как характеризуются живописным ландшафтом. Небольшая по площади, но отличающаяся высоким биоразнообразием уникальная морская фация, является наиболее перспективной для создания МОПА. Данная акватория должна войти в состав национального парка Куршская коса.

Третий и четвертый участки располагаются в инфралиторальной зоне заливов (Рисунок 55), где ландшафты характеризуются наибольшей изменчивостью. Пологий подводный склон занимают урочища подводного зарастания. Здесь произрастают мягкие водные травы: различные виды элгеи, водяного мха, стрелолиста и др. Эти растения образуют так называемые подводные луга, которые с одной стороны являются естественными волногасителями, а с другой – выступают как убежища планктонных организмов, нерестилища и нагула мальков промысловых видов рыб (Балаян, 1992). Основным критерием для создания на этих участках МОПА по (Мокиевский, 2000) является обеспечение устойчивого и комплексного использования ресурсов прибрежной зоны. По степени ограничения хозяйственной деятельности данный район попадает в категорию заказника, где любая деятельность может быть разрешена только после комплексной экологической и экономической оценки ее последствий. Участок инфралиторали Куршского залива, примыкающий к побережью Куршской косы должен быть включен в состав национального парка.

Рекомендации по проведению регионального комплексного экологического мониторинга

В настоящее время российский сектор юго-восточной части Балтийского моря особенно в прибрежной его части испытывает значительную антропогенную нагрузку. Помимо развивающегося рыболовства на природную среду оказывают постоянное негативное воздействие сбросы сточных вод, свалки грунта (дампинги), порты, загрязненные речные стоки, а так же текущие работы по обустройству новых морских нефтяных месторождений ООО «Лукойл-Калининградморнефть» и строительству газового терминала и хранилища ПАО «Газпром» (Рисунок 56). Помимо прямого воздействия существуют потенциальные

и непостоянные источники загрязнений, такие как нефтедобывающая платформа Дб, нефтетерминалы, судоходство и якорные стоянки (Рисунок 56). В условиях активного освоения акватории российского сектора юго-восточной части Балтийского моря острой и актуальной задачей является мониторинг экологического состояния морской среды и выявление устойчивых изменений биологических и абиотических компонентов.

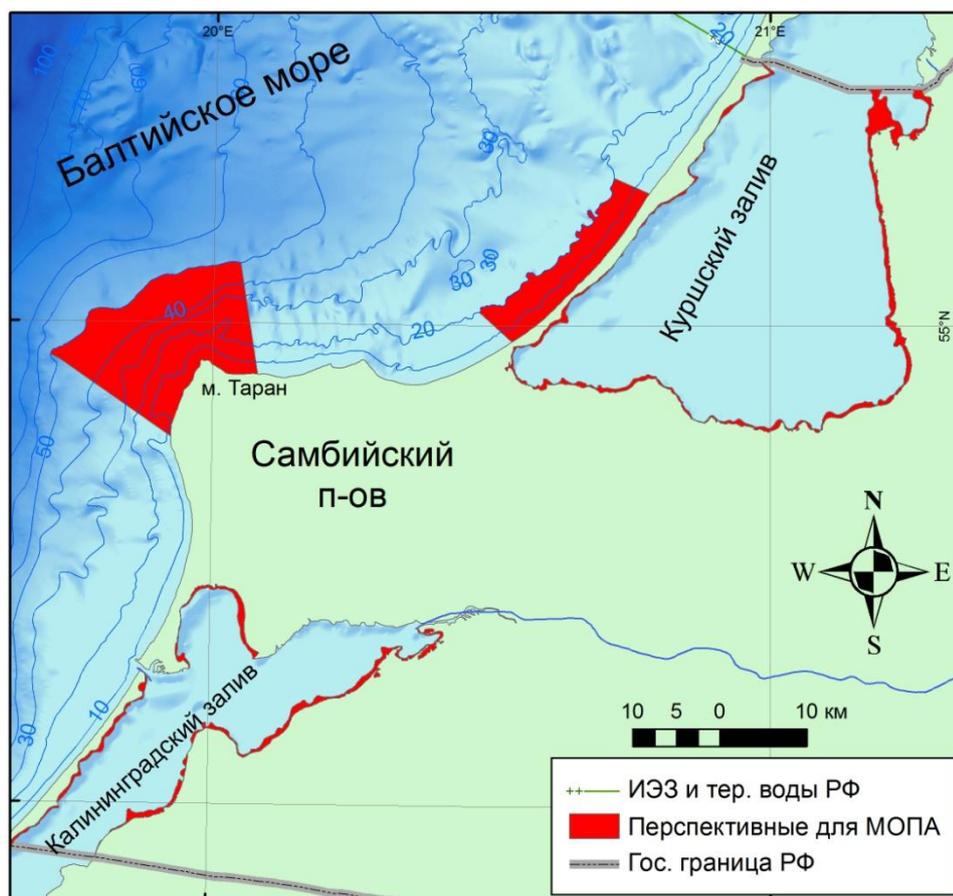


Рисунок 55 – Схема расположения перспективных участков морских охраняемых природных акваторий (МОПА)

Составлено автором.

Система регулярных наблюдений в рамках экологического мониторинга отличается широким набором различных вариантов его реализации в зависимости от задач, масштабов, интенсивности воздействия и т.п. Различают три основных типа экологического мониторинга (Патин, 2001):

1. *Фоновый мониторинг интактных районов* предполагает периодические долговременные наблюдения в районах, где практически отсутствует

антропогенная нагрузка (МОПА, пелагические области океана, труднодоступные районы и т.п.) в целях получения информации о фоновых (глобальных) характеристиках морской среды.

2. *Региональный мониторинг «обзорного» типа* включает в себя периодические крупномасштабные наблюдения по стандартной схеме в целях выявления на региональном уровне долговременных трендов изменения основных параметров экосистем под влиянием природных и антропогенных факторов.
3. *Мониторинг районов локального воздействия* выполняется в ограниченных акваториях, которые подвержены прямому техногенному воздействию (строительство морских объектов, прокладка трубопроводов, бурение скважин и т.п.). Основной целью такого мониторинга является оценка отклика экосистемы на интенсивность антропогенного воздействия и контроль над соблюдением природоохранных правил.

Необходимость проведения экологического мониторинга в процессе строительства и эксплуатации морских объектов обусловлена международными обязательствами и действующим законодательством Российской Федерации. Однако строго регламентируется выполнение только локального экологического мониторинга, который не дает информацию о влиянии единичных источников воздействия на экосистему региона в целом. В российском секторе юго-восточной части Балтийского моря имеется характерный пример, связанный со сбросом в море пульпы Янтарным комбинатом и материала для искусственного намыва пляжа в Филинской бухте. С одной стороны сброс в море техногенного осадочного вещества на локальном уровне стал благоприятным экологическим фактором, так как привел к восполнению дефицита наносов на подводном склоне, что привело к увеличению пляжей и уменьшению абразии берегов. С другой стороны присутствующая в материале глинистая фракция распространилась на большие расстояния, что привело к увеличению мутности в прибрежных водах и, как следствие, уменьшению продуктивности планктона. Под воздействием течений тонкая взвесь распространилась на большие расстояния и покрыла значительные участки дна илом и алевритом, что сильно ухудшило условия обитания бентоса и

привело к нарушению нерестилищ промысловых видов рыб. Ущерб от данного вида воздействия так и не оценен, поскольку региональный экологический мониторинг не проводился. Поэтому до сих пор ведутся споры о плюсах и минусах деятельности по намыву пляжей в Филинской бухте, но при отсутствии периодической долговременной информации о состоянии морской экосистемы все они являются безосновательными. Такая практика показывает, что в целях обеспечения рационального природопользования периодические долговременные наблюдения в рамках регионального мониторинга российских вод должны выполняться государством вне зависимости от количества и видов техногенного воздействия.

Несмотря на давнюю историю экологических исследований до сих пор не существует какой-либо строгой унифицированной методической схемы проведения регионального мониторинга. Все зависит от конкретной обстановки и выбранных проектных решений. В свою очередь это ведет к низкой эффективности мониторинговых наблюдений и напрасной трате усилий и денежных средств, что характерно для многих программ мониторинга как в России, так и за рубежом (Патин, 2001). Основной проблемой является игнорирование либо недостаточный учет высокой динамичности и сильной пространственно-временной изменчивости большинства процессов в морских экосистемах.

В настоящее время в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря региональный мониторинг на государственном уровне не проводится. Единственным источником многолетних данных о состоянии морской среды в региональном масштабе является производственный экологический мониторинг нефтедобывающей платформы Дб, который выполняется ООО «Лукойл-Калининградморнефть» с 2003 года по настоящее время. Опыт проведения мониторинга показал эффективность выбранных параметров и возможность комплексной оценки изменений основных экологических характеристик. Тем не менее разработанная в рамках производственного мониторинга программа не может применяться для выполнения регионального экологического мониторинга всего российского сектора. Основные причины заключаются в том, что заложенные точки наблюдений охватывают российский сектор частично и их выбор в первую

очередь был обусловлен относительно равномерным покрытием района потенциального негативного воздействия нефтедобычи на морскую среду.

Очевидно, что такой подход к разработке программы не является оптимальным, поскольку компоненты экосистемы не имеют регулярного пространственного расположения. Основным определяющим фактором морских экосистем является субаквальный ландшафт, сочетание компонентов которого определяет условия не только придонных, но и аквальных комплексов. Поэтому разработка программ регионального экологического мониторинга должна выполняться на основе типологических карт субаквальных ландшафтов. Только ландшафтный подход позволяет разработать схему экологического мониторинга на основе комплексной оценки состояния природной среды. Предложенная на основе ландшафтного районирования схема регионального комплексного экологического мониторинга российских секторов Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов позволяет минимизировать затраты на его выполнение путем оптимизации количества станций при сохранении репрезентативности экологических параметров.

Разработка программы экологического мониторинга включала в себя следующие основные задачи:

- планирование пространственной схемы судового мониторинга;
- установление временных параметров наблюдений;
- определение перечня регистрируемых параметров.

В рамках разработки пространственной схемы судового мониторинга в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря выбор точек регистрации экологических параметров основывался на следующих критериях:

- охват всех типов субаквальных ландшафтов;
- наличие измерений в интактных районах в качестве фоновых;
- близость источников антропогенного воздействия;
- на прибрежных участках близость устьев рек, как потенциальных источников загрязнения;
- при отсутствии противоречий с приведенными выше критериями положение станций определялось в соответствие со схемой регионального производственного экологического мониторинга нефтедобывающей платформы D-

б, выполняемого ООО «Лукойл-Калининградморнефть», для продолжения многолетних рядов данных.

На основе выбранных критериев были определены 72 точки мониторинга в Балтийском море, 37 точек в Калининградском заливе и 38 точек в Куршском заливе. Для работ в Балтийском море определен оптимальный маршрут обхода точек судном, который позволяет не только экономить судовое время, но и выполнять попутные работы на разрезах вдоль границ ИЭЗ РФ (Рисунок 56).

Кратковременные (эпизодические) наблюдения позволяют регистрировать только мгновенные отклики экосистемы и не дают долговременную оценку устойчивых отклонений от средних величин. Поэтому региональный мониторинг должен выполняться продолжительное время. Для учета сезонной изменчивости экологических параметров судовые измерения должны выполняться 4 раза в год в различные сезоны (февраль, май, август, ноябрь).

Очевидно, что в рамках регионального мониторинга практически невозможно использовать все показатели состояния морской среды. Тем не менее, интегральный анализ основных физических, химических и биологических параметров позволяет выполнить комплексную оценку состояния экосистемы. В ходе производственного экологического мониторинга месторождения D-6, исходя из существующих представлений об экосистеме Балтийского моря и опыта подобных работ в других акваториях, был предложен наиболее оптимальный набор параметров (Пичужкина и др., 2012). На его основе в рамках данной работы был разработан перечень работ на судовых станциях (Таблица 13). Пробы воды и грунта должны отбираться согласно стандартным методикам определения каждого из измеряемых параметров.

В дополнение к судовым съемкам в непосредственной близости от потенциальных источников загрязнения могут устанавливаться автономные донные станции, которые позволяют в режиме реального времени контролировать основные гидрологические и гидрохимические параметры водной толщи. Контроль нефтяного загрязнения водной поверхности и распространения взвеси может выполняться посредством периодической спутниковой или лидарной съемки. Предложенная схема регионального экологического мониторинга может дополняться при появлении новых источников антропогенного воздействия.

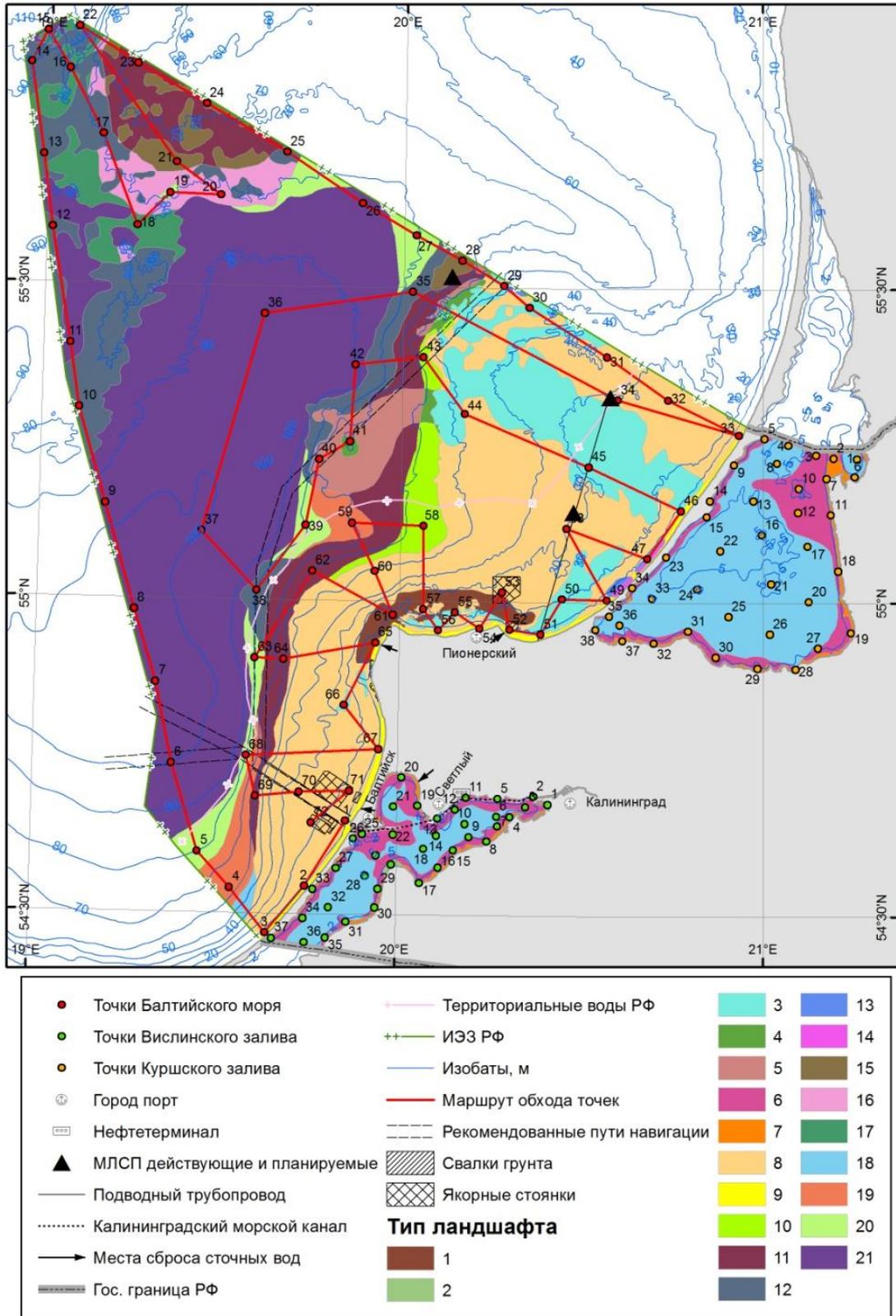


Рисунок 56 – Схема регионального комплексного экологического мониторинга российских секторов юго-восточной части Балтийского моря, Куршского и Вислинского заливов. Типы ландшафтов приведены в Таблица 9. Перечень работ на станциях – в Таблица 13

Составлено автором.

Таблица 13 – Перечень видов работ на судовых станциях в рамках регионального экологического мониторинга

Показатели	Виды работ
Геолого-геохимические	Отбор поверхностного слоя донных отложений для определения физических свойств осадков: гранулометрический состав, влажность, потери при прокаливании
	Отбор поверхностного слоя донных отложений на содержание нефтепродуктов в осадках
	Отбор поверхностного слоя донных отложений на содержание металлов: Ва, Сu, Рb, Сr, Нg, Сd
Гидрометеорологические	Измерение атмосферного давления, температуры и влажности воздуха, скорости и направления ветра
	Измерение вертикального профиля распределения температуры, солености и плотности воды
	Измерение течений по ходу судна на разрезах между станциями
	Визуальное обнаружение нефтяного загрязнения поверхности моря (сликов)
Гидрохимические	Измерение концентрации растворенного кислорода
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения концентрации биогенных веществ: фосфатов, нитратов, нитритов, аммонийного и общего азота
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения концентрации нефтепродуктов
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения концентрации и вещественного состава взвеси
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения концентрации хлорофилла «а»
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для определения биохимического потребления кислорода (БПК ₅)
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения концентрации ПАУ и СПАВ

Показатели	Виды работ
Биологические	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения численности и биомассы бактериопланктона
	Отбор проб воды на стандартных горизонтах для измерения численности углеводородокисляющих бактерий
	Отбор проб воды с поверхности для определения численности, биомассы и таксономического состава фитопланктона
	Лов зоопланктона для определения численности, биомассы и таксономического состава
	Лов ихтиопланктона для определения численности и состояния, биоиндикации морфологических аномалий
	Отбор проб поверхностных осадков для определения биомассы, численности видового состава макрозообентоса и содержания ПАУ

Составлено автором по (Пичужкина и др., 2012).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе автором выполнено ландшафтное районирование субаквальных комплексов в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря на региональном и локальном уровнях геосистем, определены их геоэкологические характеристики и даны научно обоснованные рекомендации по созданию морских охраняемых природных акваторий и проведению комплексного экологического мониторинга.

Результаты выполненных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. На дне Гданьско-Готландского порога впервые выявлены хаотичные протяженные депрессии шириной 1-300 м и глубиной 1-10 м. По морфологическим признакам они идентифицированы как реликтовые плугмарки, сформировавшиеся в результате выпаживания многочисленными айсбергами и крупными торосами на стадии Балтийского ледникового озера около 13,2 – 11,7 тыс. лет назад.
2. На основе модифицированной европейской методики в российском секторе юго-восточной части Балтийского моря на региональном уровне геосистем выделен 21 тип донного ландшафта. Самый распространенный по площади монодоминантный тип ландшафта: циркулитораль, илы (в т. ч. сапропелевидные), придонные воды мезогалинные II, относительно холодного глубинного слоя. Он расположен в Гданьской впадине и занимает 30% от площади всего района исследования. Склоны впадины на глубинах 55-85 м занимают полидоминантные ландшафты с мелкопятнистой текстурой, содержащие более десяти содоминирующих типов, определяемых в первую очередь изменчивостью субстрата и стратификацией водной толщи. Наиболее распространенный монодоминантный тип ландшафта в Куршском и Калининградском заливах занимает площадь 10% от всего района исследования и 70% от площади лагун: циркулитораль, илы (в т. ч. сапропелевидные), придонные воды олигогалинные I, с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Илы глубоководных районов Балтийского моря и примыкающих заливов характеризуются повышенной

концентрацией токсичных веществ и углеводородных газов, мониторинг изменчивости которых имеет важное геоэкологическое значение.

3. Наиболее перспективными для создания морских охраняемых природных акваторий (МОПА) являются районы с редкими для Балтийского моря формами донного ландшафта, представленными древними абразионными уступами в районе м. Таран, уникальными выходами реликтовых лагунных илов на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы и инфралиторальная зона в Куршском и Калининградском заливах, где отмечается увеличение численности и биологического разнообразия донных растений и организмов. Полидоминантный ландшафт ключевого участка в районе м. Таран находится в циркулиторальной зоне с олигогалинным II классом солености придонных вод, которые относятся к верхнему изменчивому по температуре слою и представлен двумя доминирующими урочищами. Первое характеризуется горизонтальной поверхностью дна, преимущественно покрытого песками различной размерности, а второе – ступенчатыми склонами, осложненными древними береговыми уступами, покрытыми песками, валунами, галькой и гравием. Наименьший по площади и изменчивый тип ландшафта приурочен к ключевому участку с выходами реликтовых лагунных илов на подводном береговом склоне корневой части Куршской косы. Он расположен в инфралиторальной и циркулиторальной зонах со следующим сочетанием компонентов: плотные глины (в т. ч. перекрытые тонким слоем песка или гравия), придонные воды олигогалинные II, с выраженной сезонной изменчивостью температуры. Доминирующее урочище характеризуется горизонтальной (слабонаклонной) поверхностью дна, покрытого песками различного гранулометрического состава с примесью гальки и гравия.
4. Предложенная на основе ландшафтного районирования схема комплексного экологического мониторинга российского сектора Балтийского моря и примыкающих к нему Куршского и Вислинского заливов позволяет минимизировать затраты на его выполнение путем оптимизации количества станций при сохранении репрезентативности геоэкологического состояния морской среды. Региональный геоэкологический мониторинг должен

выполняться по разработанной схеме, где точки судовых наблюдений охватывают все типы субаквального ландшафта и источники антропогенного воздействия.

Полученная карта субаквальных ландшафтов российского сектора юго-восточной части Балтийского моря в дальнейшем может применяться в качестве основы для рационального природопользования, поскольку она дает комплексную информацию об уникальности, изменчивости и площади их распространения. Новая карта является шагом на пути интеграции российского сектора Балтики с ландшафтными картами соседних европейских стран, поскольку была составлена на основе согласованного международного подхода. Она позволяет наметить первые ориентиры для будущего пространственного планирования рассматриваемых акваторий с учетом трансграничных условий.

Поскольку качество карт морского ландшафта соответствует используемым исходным данным, дальнейшие усилия должны быть направлены на морские исследования в целях их уточнения и улучшения зоны покрытия. Дальнейшее улучшение региональной ландшафтной карты также должно быть связано с добавлением и ежегодным обновлением такого важного параметра, как придонная концентрация кислорода. В настоящий момент результаты измерений неравномерны и получены обрывочно по нескольким судовым станциям на локальных участках. Ежегодные данные о концентрации кислорода в придонной воде в масштабе всего российского сектора должны регистрироваться по предлагаемой в данной работе схеме геоэкологического мониторинга.

Несмотря на то, что абиотический подход позволяет достоверно идентифицировать структурные единицы ландшафта, для создания полностью информативных карт морских местообитаний и проведения обширных экологических оценок крайне важна биологическая информация. Основная проблема при картировании заключается в большой изменчивости состава бентосных сообществ по сравнению с абиотическими характеристиками, в большей мере зависящая от климатических сезонов и интенсивности заточек североморских вод. Разовые определения видового состава бентоса, полученные на разрозненных в пространстве и времени судовых станциях, представляют его мгновенную характеристику, которая не может приниматься в качестве

обобщенной биологической информации. Поэтому характеристики донного биоценоза должны изучаться регулярно, посезонно и на судовых станциях, предложенных в данной работе с учетом распределения типов донного ландшафта. Наличие регулярных биологических данных позволит на основе ландшафтной карты разработать методику и выполнить оценку экологической чувствительности ландшафтов к различным типам антропогенного воздействия, по аналогии с (Blazauskas, Dorokhov 2014), проведенной для береговой зоны Литвы и Калининградской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александров, С.В. Первичная продукция планктона в лагунах Балтийского моря (Калининградский и Куршский заливы). – Калининград: АтлантНИРО, 2010. – 228 с.
2. Амбросимов, А.К., Стонт, Ж.И., Якубов, Ш.Х. Волнение и уровень моря // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 246-262.
3. Арзамасцев, В.А., Преображенский, Б.В. Атлас подводных ландшафтов Японского моря. – М.: Наука, 1990. – 224 с.
4. Бабаков, А.Н. Прибрежные течения средней части Куршской косы // Проблемы изучения и охраны природы Куршской косы (под ред. В.М. Слободяника и А.Р. Манукяна). – Калининград:, ГП «КГТ», 1998. – С. 16-30.
5. Балаян, Б. М. Подводные ландшафты береговой зоны Юго-Восточной Балтики и их морфологические структуры // Геоэкология морских ландшафтов – Калининград, 1992. – С. 99 – 109.
6. Барина, Г.М. Калининградская область. Климат. – Калининград: ФГУИПП «Янтарный сказ», 2002. – 196 с.
7. Берг, Л.С. Фации, географические аспекты и географические зоны // Изв. Всес. Геогр. об-ва. – 1945 – Т. 77. – Вып. 3.
8. Блажчишин, А.И. Палеогеография и эволюция позднечетвертичного осадконакопления в Балтийском море. – Калининград: Янтарный сказ, 1998. – 160 с.
9. Блажчишин, А.И. Подводные ландшафты Калининградского взморья в районе Самбийского полуострова // Геоэкология морских ландшафтов. – Калининград, 1992. – С. 90 – 99.
10. Блажчишин, А.И., Болдырев, В.Л., Ефимов, А.Н., Тимофеев, И.А. Древнебереговые уровни и образования в юго-восточной части Балтийского моря // Baltica. – 1982. – V. 7. – P. 57-64.
11. Гелумбаускайте, Ж.А., Литвин, В.М., Мальков, Б.И., Москаленко, П.Е., Юшкевичс, В.В. Геоморфология // Геология и геоморфология Балтийского моря. Сводная объяснительная записка к геологическим картам масштаба 1:500 000. М-

во геол. СССР, Литовский геологический институт. Под ред. А.А. Григялиса. – Л.: Недра, 1991. – 420 с.

12. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Балтийское море. Гидрометеорологические условия / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – Т. 3. – Вып. 1. – 452 с.

13. ГОСТ 17.8.1.01-86 Охрана природы. Ландшафты. Термины и определения. – Москва: Издательство стандартов, 2002. – 5 с.

14. ГОСТ 17.8.1.02-88. Охрана природы. Ландшафты. Классификация. – Москва: Издательство стандартов, 2002. – 6 с.

15. ГОСТ Р 52155-2003. Географические информационные системы федеральные, региональные, муниципальные. Общие технические требования. – Москва: Издательство стандартов, 2004. – 15 с.

16. Гуделис, В.К., Лукошевичус, Л.С., Клейменова, Г.И., Вишневская, Е.М. Геоморфология и позднее-последледниковые донные отложения юго-восточной Балтики // *Baltica*. – 1977. – V. 6. – P. 245-256.

17. Гурьянова, Е. Ф. Теоретические основы составления карт подводных ландшафтов // *Вопросы биостратиграфии континентальных толщ*, 1959. – С.35 – 48.

18. Гялумбаускайте, Ж. Методика и результаты исследования деформаций древнебереговых уровней ЮВ части Балтийского моря // *Baltica*. – 1982. V. 7. – P. 95-104.

19. Донные ландшафты Японского моря / отв. ред. Преображенский Б.В. – Владивосток: ТИГ ДВО АН СССР, 1987. – 152 с.

20. Дорохов, Д.В., Дорохова, Е.В. Литодинамические и геоморфологические особенности террасированного подводного склона Самбийского п-ова (юго-восточная часть Балтийского моря) // *Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта*. – Калининград: Изд-во БФУ им. И. Канта. – 2014. - № 1. – С. 30 - 41.

21. Дубравин, В.Ф., Голенко, Н.Н., Горбацкий, В.В., Сивков, В.В. Гидрологические условия // *Нефть и окружающая среда Калининградской области*. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. – С. 263-276.

22. Дубравин, В.Ф. Гидрохимический режим // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 106-120.
23. Дубравин, В.Ф., Навроцкая, С.Е. Особенности сезонной изменчивости относительной прозрачности вод восточной части Гданьского бассейна в 2004 – 07 гг. // Уч. зап. Русск. Географ. об-ва (Калининградское отд.). Тез. докл. Межд. конф. Комплексное управление, индикаторы развития, пространственное планирование и мониторинг прибрежных регионов юго-восточной Балтики». – 2008. – Т. 7. – Ч. 1. – С. AF1-AF4.
24. Дубравин, В.Ф., Стонт, Ж.И. Гидрометеорологический режим, структура и циркуляция вод // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 69-106.
25. Ежова, Е.Е., Володина, А.А. Водоросли-макрофиты // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 449-460.
26. Емельянов, Е.М., Кравцов, В.А., Сивков, В.В., Дорохова, Е.В. Токсичные вещества в донных осадках // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 304-314.
27. Жамойда, В.А., Сивков, В.В. Донный рельеф и поверхностные осадки // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Terra Балтика, 2012. – Т. II. – С. 59-69.
28. Жамойда, В.А., Сивков, В.В., Рябчук, Д.В. Литологическая карта поверхности морского дна // Атлас геологических и эколого-геологических карт Российского сектора Балтийского моря. Гл. ред. Петров О.В. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – С. 62.
29. Илюшин, Д.Г. Современные методы исследования донных сообществ // Инженерные изыскания, 9-10. – М., 2014. – С. 98-104.
30. Инструкция по составлению и подготовке к изданию листов государственной геологической карты Российской Федерации масштаба 1: 200000, 1995. - М.: Роскомнедра. – 244 с.
31. Исаченко, А.Г. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование / Учеб. – М.: Изд. «Высшая школа», 1991. – 366 с.

32. Ландшафтоведение: учебное пособие / сост.: С.В. Богомазов, Е.В. Павликова, О.А. Ткачук. – Пенза: РИО ПГСХА, 2012. – 160 с
33. Линдберг, Г.У. Картирование подводных ландшафтов с целью изучения закономерностей распределения животных // Д. Л. Степанова (ред.) Вопросы биостратиграфии континентальных толщ: Тр. III сессии Всесоюзн. палеонтол. об-ва. – 1959. – С. 49–52.
34. Литвин, В.М. Рельеф дна Гданьского бассейна // Процессы осадконакопления в Гданьском бассейне. Под ред. Е.М. Емельянова, К. Выпыха. – Москва, 1987. – 273 с.
35. Литвин, В.М., Сагалевиц, А.М., Свиридов, Н.И., Шехватов, Б.В. Результаты непрерывного сейсмопрофилирования в Балтийском море // Океанология. – 1972. – Т. 12. – Вып. 6. – С. 1037-1043.
36. Лымарев, В.И. Ландшафтно-зональные основы рационального берегопользования Восточной Балтики // Геоэкология морских ландшафтов. – Калининград, 1992. – С. 109 – 119.
37. Лымарев, В.И. Схема физико-географического районирования Балтийского моря // Изв. ВГО. – 1983. – Т. 115. – Вып. 3.– С. 255-259.
38. Мануйлов, В.А. Изучение донных природных комплексов верхнего шельфа залива Петра Великого (для обоснования размещения хозяйств марикультуры) // Вестн. Моск.ун-та.– Сер. 5. География, 1982. – № 1– С.48-52.
39. Мануйлов, В.А. Подводные ландшафты залива Петра Великого. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1990. – 168 с.
40. Методические рекомендации по изучению донных образований арктического шельфа. – Л.: НИИ Геологии Арктики, 1981. – 80 с.
41. Мильков, Ф. Н. Ландшафтная география и вопросы практики. – М.: Мысль, 1966. – 256 с.
42. Мильков, Ф.Н. Ландшафтная сфера Земли. – М.: Мысль, 1970. – 208 с.
43. Мокиевский, В.О. Особо охраняемые морские акватории — международный опыт создания и управления [Электронный ресурс] // Заповедники и национальные парки. – 2000. - № 30. – Режим доступа: <http://www.biodiversity.ru/publications/zpnp/archive/n31r/30mpa.html>

44. Мокиевский, В.О., Спиридонов, В.А., Токарев, М.Ю., Добрынин, Д.В. Современные дистанционные методы в изучении морских донных сообществ и ландшафтов прибрежной зоны // Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. Труды Беломорской биостанции МГУ. – 2012. – Т. 11. – С. 6 – 21.
45. Мокиевский, В.О., Токарев, М.Ю., Головкин, А.Н., Баскакова, Г.В., Сорокин, В.М., Старовойтов, А.В., Цетлин, А.Б. Комплексное ландшафтное картографирование дна на модельном полигоне // Комплексные исследования подводных ландшафтов в Белом море с применением дистанционных методов. Труды Беломорской биостанции МГУ. – 2012. – Т. 11. – С. 22 – 33.
46. Немировская, И.А. Нефтяные углеводороды // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. – С. 152-174.
47. Огородов, С.А. Роль морских льдов в динамике рельефа береговой зоны. – М.: Изд-во Московского университета, 2012. – 173 с.
48. Орлова, М.И., Рябчук, Д.В., Жамойда, В.А., Неевин, И.А., Сергеев, А.Ю. Особенности пространственной изменчивости абиотических элементов подводных ландшафтов и поселений донных макробеспозвоночных северной береговой зоны восточной части Финского залива // Региональная экология. – СПб: Из-во "ВВМ". – 2014. – Т. 35. – № 1-2. – С. 29 - 38.
49. Орлова, М.И., Рябчук, Д.В., Спиридонов, М.А. Макрозообентос мелководий // Экосистема эстуария р. Невы: биологическое разнообразие и экологические проблемы. – 2008. – С. 184 – 201.
50. Панкеева, Т.В. Миронюк, О.А. Панкеева, А.Ю. Исследования донных ландшафтов прибрежной зоны Тарханкутского полуострова (Крым, Черное море) // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2014. – Т. 10. Вып. 1. – С. 800-805.
51. Панов, Д.Г. О подводных ландшафта Мирового океана // Изв. ВГО. Сер. Геогр. – 1950. – № 6. – С. 582-607.
52. Патин, С.А. Нефть и экология континентального шельфа. – М.:ВНИРО, 2001. – 247 с.
53. Петров, К. М. Береговая зона моря как ландшафтная система // Изв. ВГО.– 1971. – Т. 103. – Вып. 5.– С. 391-396.

54. Петров, К. М. Биономия океана. – СПб.: Изд. СПбГУ, 2004. – 242 с.
55. Петров, К. М. Ландшафтно-экологический метод исследования бентоса береговой зоны арктических морей: Карское море, Байдарацкая губа [Электронный ресурс] // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология. География. – Электрон. дан. – 2009. – № 4. – С. 87-92.
56. Пичужкина, О.Е., Алексеева, В.В., Сивков, В.В., Фельдман, В.Н., Щука, С.А. Производственный экологический мониторинг // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. – С. 218-230.
57. Польшов, Б.Б. Избранные труды. – М.: Изд. АН СССР, 1956.
58. Поярков, Б. В. Принципы картирования экосистем шельфа // Методы комплексного картирования экосистем шельфа. – Владивосток, 1980. – С. 7-22.
59. Преображенский, Б. В., Жариков, В. В., Дубейковский, Л. В. Основы подводного ландшафтоведения. – Владивосток: Дальнаука, 2000. – 351 с.
60. Преображенский, Б.В. Морское ландшафтоведение. Технологический аспект // Подводные исследования и робототехника. – 2006. – №1 – С. 50-58.
61. Природно-ресурсный потенциал Приморского края / Отв. ред. В.П. Каракин; Рос. акад. наук. Дальневост. отд-ние. Тихоокеан. ин-т географии. – Владивосток: Дальнаука, 1999. – 185 с.
62. Рудинская, Л.В., Гусев, А.А. Макрозообентос // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. – С. 438-449.
63. Сафьянов, Г.А. Береговая зона океана в XX веке. – М.: Мысль, 1978. – 263 с.
64. Свиридов, Н.И. Строение и мощность четвертичных отложений Балтийского моря по данным непрерывного сейсмоакустического профилирования // Океанология. – 1975. – Т. 15. – Вып. 3. – С. 498-502.
65. Сивков, В.В., Дорохов, Д.В., Дорохова, Е.В., Жамойда, В.А., Рябчук, Д.В., Сергеев, А.Ю. Абиотический подход к картированию донных ландшафтов в российских секторах Балтийского моря // Региональная экология. – СПб: Из-во "ВВМ". – 2014. – Т. 35. – № 1-2. – С. 156 - 165.
66. Современная система ООПТ России [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.wwf.ru/about/what_we_do/reserves/info/statistics

67. Современные ландшафты Крыма и сопредельных акваторий: Монография / Науч. ред. Позаченюк Е.А. – Симферополь: Бизнес-Информ, 2009. – 672 с.
68. Сочава, В.Б. Введение в учение о геосистемах. – Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1978. – 320 с.
69. Ульянова, М.О., Пименов, Н.В., Сивков, В.В., Томин, И.С. Углеводородные газы в донных осадках // Нефть и окружающая среда Калининградской области. – Калининград: Терра Балтика, 2012. – Т. II. – С. 315-320.
70. Федоров, В.В. Методические рекомендации по проведению морских ландшафтных исследований в рыбохозяйственных целях. – М.: ВНИРО, 1982. – 56 с.
71. Харин, Г.С. Древние береговые линии и уступы на дне Гданьского залива и Центральной Балтики // Процессы осадконакопления в Гданьском бассейне (Балтийское море) (Отв. ред. Е.М. Емельянов, К. Выпых). – М.: Институт океанологии им. П.П. Ширшова АН СССР (Атлантическое отделение), 1987. – с. 25-29.
72. Хромов, С.П. Есть ли ландшафтные зоны в океане? // Изв. ВГО. – 1949. – Т. 81, – Вып. 2.
73. Чубаренко, Б., Маргоньский, П. Калининградский залив // Экология прибрежных вод Балтийского моря. Экологические исследования. Под ред. У. Шивера. – Springer-Verlag, 2008. – С. 167-195.
74. Al-Hamdani, Z., Reker, J., Leth, J., Reijonen, A., Kotilainen, A., Dinesen G. Development of marine landscape maps for the Baltic Sea and the Kattegat using geophysical and hydrographical parameters // Geological Survey of Denmark and Greenland Bulletin. – 2007. – № 13. – P. 61–64.
75. Al-Hamdani, Z., Reker, J., Towards marine landscapes in the Baltic Sea [Электронный ресурс] // BALANCE interim report. – 2007. – № 10. – Режим доступа: <http://balance-eu.org/>.
76. Ananyev, R., Dmitrevskiy, N., Jakobsson, M., Lobkovsky, L., Nikiforov, S., Roslyakov, A., Semiletov, I. Sea-ice ploughmarks in the eastern Laptev Sea, East Siberian Arctic shelf // Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K., Hogan, K.A. (eds) Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient // Geol. Soc. Lond. Memoirs. – 2016. – № 46. – P. 301–302.

77. Andrén, T., Björck, S., Andrén, E., Conley, D., Lambeck, K., Zillén, L., Anjar, J. The development of the Baltic Sea basin during the last 130 ka // Harff, J., Björck, S., Hoth, P. (eds) *The Baltic Sea Basin* – Berlin: Springer-Verlag, 2011. – P. 75-97.
78. Barnes, P.W., Lien, R. Icebergs rework shelf sediments to 500 m off Antarctica // *Geology*. – 1988. – № 16. – P. 1130–1133.
79. Björck, S. A review of the history of the Baltic Sea, 13.0–8.0 ka BP // *Quat. Int.* – 1995. – № 27. – P. 19–40.
80. Björck, S. The late Quaternary development of the Baltic Sea basin // *The BACC Author Team (eds). Assessment of climate change for the Baltic Sea Basin.* – Berlin: Springer. – 2008. – P. 398–407.
81. Blazauskas, N., Dorokhov, D. Assessment of the sensitivity of sandy coasts of the south–eastern part of the Baltic to oil spills // *Baltica*. – 2014. – № 27. – P. 55 - 64.
82. Brown, C.J., Todd, B.J., Kostylev, V.E., Pickrill, R.A. Image-based classification of multibeam sonar backscatter data for objective surficial sediment mapping of Georges Bank, Canada // *Continental Shelf Research*. – 2011. – V. 31. – № 2. – P. S110-S119.
83. Churnside, J. Review of profiling oceanographic lidar // *Optical Engineering*. – 2014. – V. 53. – № 5. – P. 051405.
84. Clements, A.J., Service, M. Bathymetric & habitat map for Strangford Lough (special area of conservation & marine conservation zone), Northern Ireland / Report to the Department of the Environment. AFBI, 2015.
85. Connor, D.W., Brazier, D.P., Hill, T.O., Northen, K.O. Marine Nature Conservation // Review: marine biotope classification for Britain and Ireland, 1997a. – V. 1. Littoral biotopes.
86. Connor, D.W., Dalkin, M.J., Hill, T.O., Holt, R.H.F., Sanderson, W.G. Marine Nature Conservation // Review: marine biotope classification for Britain and Ireland, 1997b. – V. 2. Sublittoral biotopes.
87. Connor, D.W., Golding, N., Robinson, P., Todd D., Verling E. UKSeaMap: The mapping of marine seabed and water column features of UK seas / Consultation report. Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2007.
88. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora / *Official Journal of the European Union L 206*, 1992. – P. 0007-0050.

89. Davies, C. E., Moss, D. EUNIS Habitat Classification / Final report to the European Topic Centre on Nature Conservation, European Environment Agency. – Huntingdon: Institute of Terrestrial Ecology, 1999.
90. Davies, T.A., Bell, T., Cooper, A.K., Josenhans, H., Polyak, L., Solheim, A., Stoker, M.S., Stravers, J.A. (eds). Glaciated Continental Margins: An Atlas of Acoustic Images. – Netherlands: Springer, 1997.
91. Development of a framework for Mapping European Seabed Habitats (MESH) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/default.aspx?page=2003>
92. Devillers, P., Devillers-Terschuren, J. A classification of Palaeartic habitats / Council of Europe. – Strasbourg: Nature and environment, 1996. – № 78.
93. Devillers, P., Devillers-Terschuren, J., Ledant, J-P. CORINE biotopes manual. Vol. 2. Habitats of the European Community. – Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 1991.
94. Diesing, M., Green, S. L., Stephens, D., Lark, R. M., Stewart, H. A., Dove, D. Mapping seabed sediments: Comparison of manual, geostatistical, object-based image analysis and machine learning approaches // Continental Shelf Research. – 2014. – V. 84. – P. 107-119.
95. Dowdeswell, J.A., Bamber, J.L. Keel depths of modern Antarctic icebergs and implications for sea-floor scouring in the geological record // Marine Geology. – 2007. – V. 243. – P. 120–131.
96. Dowdeswell, J.A., Ottesen, D. Buried iceberg ploughmarks in the early Quaternary sediments of the central North Sea: a two-million year record of glacial influence from 3D seismic data // Marine Geology. – 2013. – V. 344. – P. 1–9.
97. Dowdeswell, J.A., Villinger, H., Whittington, R.J., Marienfeld, P. Iceberg scouring in Scoresby Sund and on the East Greenland continental shelf // Marine Geology. – 1993. – V. 111. – P. 37–53.
98. Dowdeswell, J.A., Whittington, R.J., Marienfeld, P. The origin of massive diamicton facies by iceberg rafting and scouring, Scoresby Sund, East Greenland // Sedimentology. – 1994. – V. 41. – P. 21–35.
99. Elhammer, A., Axberg, S., Kjellin, B. Beskrivning till maringeologiska kartbladet 079/470 Fårö / Sveriges geologiska undersökning, 1988. – Am 2:44

100. Emelyanov, E.M. Geology of the Gdansk basin. – Yantarny skaz: Kaliningrad, 2002. – 494 p.
101. Emelyanov, E.M., Romanova, E.A. Paleogeography of the Gdansk Basin in post-glacial period and bottom sediments // Emelyanov E.M. (ed.), Geology of the Gdansk Basin, Baltic Sea. – Kaliningrad: Yantarny Skaz, 2002. – P. 406-423.
102. EMODnet: Seabed Habitats [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/default.aspx?mapInstance=MESHAtlanticMap_&page=1974&LAYER_S=EUSM2016&zoom=4&Y=58.17343710363403&X=8.223266600419677
103. EUNIS habitat type hierarchical view [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://eunis.eea.europa.eu/habitats-code-browser.jsp>
104. Ezhova, E., Dorokhov, D., Sivkov, V., Zhamoida, V., Ryabchuk, D., Kocheshkova, O. Benthic habitats and benthic communities in Southeastern Baltic Sea, Russian sector // Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats. – 2012. – P. 613-621.
105. Feistel, R., Nausch, G., Wasmund, N. (eds). State and Evolution of the Baltic Sea, 1952–2005. A Detailed 50-Year Survey of Meteorology and Climate, Physics, Chemistry, Biology, and Marine Environment. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008. – 703 p.
106. Folk, R.L. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary-rock nomenclature // Journal of Geology. – 1954. – V. 62. – P. 344-359.
107. Gelumauskaite, L.Z. Character of sea level changes in the subsiding south-eastern Baltic Sea during Late Quaternary // Baltica. – 2009. – V. 22. – № 1. – P. 23–36.
108. Gelumauskaite, L.Z., Grigelis, A., Cato, I., Repecka, M., Kjellin, B. Bottom topography and sediment maps of the central Baltic Sea. Scale 1:500,000. A short description // LGT Series of Marine Geological Maps No. 1. – SGU Series of Geological Maps Ba No. 54, 1999. – p. 18.
109. Gerok, D., Gelumauskaite, L.Z., Flodén, T., Grigelis, A., Bitinas, A. New data on the palaeo-incisions network of the south-eastern Baltic Sea // Baltica. – 2014. – V. 27. – № 1. – P. 1–14.

110. Harff, J., Meyer, M. Coastlines of the Baltic Sea – Zones of Competition Between Geological Processes and a Changing Climate: Examples from the Southern Baltic. - Heidelberg Berlin: Springer, 2011. - p. 151-166.
111. Hass, H.C., Mielck, F., Fiorentino, D. et al. Seafloor monitoring west of Helgoland (German Bight, North Sea) using the acoustic ground discrimination system RoxAnn // *Geo-Mar Letters*. – 2017. – V. 37. – № 2. – P. 125–136.
112. Hequette, A., Desrosiers, M., Barnes, P.W. Sea ice scouring on the inner shelf of the southeastern Canadian Beaufort Sea // *Marine Geology*. – 1995. – V. 128. – P. 201–219.
113. Holler, P., Markert, E., Bartholomä, A. et al. Tools to evaluate seafloor integrity: comparison of multi-device acoustic seafloor classifications for benthic macrofauna-driven patterns in the German Bight, southern North Sea // *Geo-Marine Letters*. – 2017. – V. 37. – № 2. – P. 93–109.
114. Houmark-Nielsen, M., Lagerlund, E. The Helsingør diamicton // *Bulletin Geological Society Denmark*. – 1987. – V. 36. – P. 237–247.
115. Iampietro, P., Kvitek R. Quantitative seafloor habitat classification using GIS terrain analysis: Effects of data density, resolution, and scale [Электронный ресурс] // *Proceedings of the 22nd Annual ESRI User Conference*. San Diego, CA, July 8-12. - 2002. – Режим доступа: <http://gis.esri.com/library/userconf/proc02>
116. Iampietro, P., Kvitek, R. and Morris, E. Recent Advances in Automated Genus-specific Marine Habitat Mapping Enabled by High-resolution Multibeam Bathymetry // *Marine Technology Society Journal*. – 2005. – V. 39. – № 3. – P. 83-93.
117. Ichter, J., Douglas, E., Dominique, R. Terrestrial habitat mapping in Europe: an overview / EEA Technical report No 1/2014. – 2014. – 152 pp.
118. Jakobsson, M. Submarine glacial landform distribution in the central Arctic Ocean shelf–slope–basin system // Dowdeswell, J.A., Canals, M., Jakobsson, M., Todd, B.J., Dowdeswell, E.K., Hogan, K.A. (eds) *Atlas of Submarine Glacial Landforms: Modern, Quaternary and Ancient* // *Geol. Soc. Lond. Memoirs*. – 2016. – № 46. – P. 469–476.
119. Jöns, H. Settlement development in the shadow of coastal changes – case studies from the Baltic Rim // Harff J, Björck S, Hoth P (eds) *The Baltic Sea Basin. Central and Eastern European Development Studies*. – Berlin: Springer, 2011. – P. 301–336.

120. Kelleher, G. Guidelines for Marine Protected Areas. – Gland, Switzerland and Cambridge, UK: IUCN — The World Conservation Union, 1999. – xxiv 107 p.
121. Kocheshkova, O., Ezhova, E., Dorokhov, D., Dorokhova, E. Benthic communities and benthic habitats in the near-shore zone of the South Eastern Baltic Sea: case study of pilot area at the root of Curonian Spit // *Baltica*. – 2014. – № 27. – P. 45–54.
122. Kotilainen, A.T., Kaskela, A.M., Alanen, U., Stevenson, A., EMODnet Geology Partners. EMODnet Geology – Seabed substrate and sedimentation rate data from Europe's Seas // Abstract volume of the 13th colloquium on Baltic Sea marine geology. – 2016. – P. 102.
123. Kotilainen, A.T., Kaskela, A.M., Bäck, S., Leinikki, J. Submarine De Geer Moraines in the Kvarken Archipelago, the Baltic Sea // *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats*. Elsevier Insights series. – 2012. – P. 289-298.
124. Lagerlund, E. An alternative Weichselian glaciation model, with special reference to the glacial history of Skine, South Sweden // *Boreas*. – 1987. V. 16. – P. 433–459.
125. Lewis, C.F.M., Blasco, S.M. Character and distribution of sea-ice and iceberg scours. // Clark, J.I. (ed) Workshop Ice Scouring and Design of Offshore Pipelines, Calgary, Alberta, 18–19 April 1990. Canada Oil and Gas Lands Administration, Energy, Mines and Resources Canada and Indian and Northern Affairs Canada, Ottawa. – 1990. – P. 57–101.
126. Lisitzin, A.P. Sea-ice and iceberg sedimentation in the ocean. Recent and past. – Berlin: Springer, 2002. – 497 p.
127. Lundblad, E.R., Wright, D. J., Miller, J., Larkin, E.M., Rinehart, R., Naar, D.F., Donahue, B.T., Anderson, S.M., Battista, T.A. Benthic Terrain Classification Scheme for American Samoa // *Marine Geodesy*. – 2006. – V. 29. – № 2. – P. 89-111.
128. Madden, C., Goodin, K., Allee, R., Cicchetti, G., Moses, C., Finkbeiner, M., Bamford, D. Coastal and marine ecological classification standard [Электронный ресурс] // NOAA and NatureServ. – 2009. – 107 p. – Режим доступа: <https://coast.noaa.gov/digitalcoast/training/cmecs-pub.html>.
129. Malmberg Persson, K., Lagerlund, E. Sedimentology and depositional environments of the Lund Diamicton, southern Sweden // *Boreas*. – 1990. 19. – P. 181–199.

130. Mironyuk, S., Verbitskaya, O. Geohazards along the "Nord Stream" gas pipeline route: analysis and minimization // Abstracts volume. The 10th International Marine Geological Conference «The Baltic Sea Geology-10». – Saint-Petersburg: Press VSEGEI, 2010. – P. 82-83.
131. Myers, N. The biodiversity challenge: expanded hotspots analysis // *Environmentalist*. – 1990. – V. 10. – P. 243–256.
132. NOAA Shoreline Website [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://shoreline.noaa.gov/data/datasheets/pgs.html>
133. Ogorodov, S.A., Arkhipov, V. Caspian Sea bottom scouring by hummocky ice floes // *Doklady Earth Sciences*. – 2010. – V. 432. – № 1. – P. 703–707.
134. Ogorodov, S.A., Arkhipov, V., Kokin, O., Marchenko, A., Overduin, P., Forbes, D. Ice effect on coast and seabed in Baydaratskaya Bay, Kara Sea // *Geography, Environment, Sustainability*. – 2013. – V. 6. – № 3. P. 21–37.
135. Rinehart, R.W., Wright, D.J., Lundblad, E.R., Larkin, E.M., Murphy, J., Cary-Kothera, L. ArcGIS 8.x Benthic Terrain Modeler: Analysis in American Samoa [Электронный ресурс]. – Proceedings of the 24th Annual ESRI User Conference, San Diego, CA, 2004. – P. 1433. – Режим доступа: http://dusk.geo.orst.edu/esri04/p1433_ron.html
136. Roff, J.C., Taylor, M.E. National frameworks for marine conservation – hierarchical geophysical approach // *Aquatic Con.: Mar. Freshw. Ecosys.* – 2000. – V. 10. – P. 209-223.
137. Rudenko, M.V. Relief of the Gdansk Basin // Emelyanov (ed) *Geology of the Gdansk basin*. – Kaliningrad: Yantarny skaz, 2002. – P. 26-31.
138. Sergeev, A.Y., Zhamoida, V.A., Ryabchuk, D.V., Buynevich, I.V., Sivkov, V.V., Dorokhov, D.V., Bitinas, A., Pupienis, D., Genesis, distribution and dynamics of lagoon marl extrusions along the Curonian Spit, southeast Baltic Coast // *Boreas*. -2016. – P. 1-14.
139. Sivkov, V., Dorokhov, D., Ulyanova, M. Submerged Holocene Wave-Cut Cliffs in the South-eastern Part of the Baltic Sea: Reinterpretation Based on Recent Bathymetrical Data // Harff, J., Björck, S., Hoth, P. (Eds.) *The Baltic Sea Basin*. – Berlin: Springer, 2011. – P. 203-217.

140. Sviridov, N.I., Emelyanov, E.M. Lithofacial complexes of quaternary deposits in the Central and Southeastern Baltic Sea // *Lithology and Mineral Resources*. – 2000. – V. 35. – № 3. – P. 211–231.
141. Syvitski, J.P.M., Stein, A.B., Andrews, J.T., Milliman, J.D. Icebergs and the sea floor of the East Greenland (Kangerlussuaq) continental margin // *Arctic Antarctic and Alpine Research*. – 2001. – V. 33. – № 1. – P. 52–61.
142. Trokowicz, D. Genesis of ferromanganese nodules in the Baltic Sea // *Prace Państwowego Instytutu Geologicznego*. – 1998. – V. 163. – P. 1–62.
143. Uścińowicz, S. A relative sea-level curve for the Polish Southern Baltic Sea // *Quaternary International*. – 2006. – V. 145-146. – P. 86–105.
144. Uścińowicz, S. De Geer moraines on the Słupsk Bank // 10th Int Marine Geological Conf, The Baltic Sea Geology. – St. Petersburg: VSEGEI, 2010. – P. 139–141.
145. Uścińowicz, S. Relative sea level changes, glacio-isostatic rebound and shoreline displacement in the southern Baltic // *Polish Geological Institute Special Papers*. – 2003. – V. 10. – P. 79.
146. Uścińowicz, S. Southern Baltic area during the last deglaciation // *Geology Quarternary*. – 1999. – V. 43. - № 2. – P. 137–148.
147. Verfaillie, E., Doornenbal, P., Mitchell, A.J., White, J. and Van Lancker, V. The bathymetric position index (BPI) as a support tool for habitat mapping. Worked example for the MESH Final Guidance, 2007. – 14 p.
148. Vincent, M.A., S.M. Atkins, C.M. Lumb, N. Golding, L.M. Lieberknecht, Webster M. Marine nature conservation and sustainable development – the Irish Sea Pilot. Report to Defra by the Joint Nature Conservation Committee, Peterborough, 2004.
149. Wadhams, P. Ice in the ocean. – Amsterdam: Gordon and Breach Sci Publ, 2000. – 364 p.
150. Weiss, A.D. Topographic Positions and Landforms Analysis // ESRI International User Conference. San Diego, CA, July 9-13, 2001.
151. Woodworth-Lynas, C.M.T., Josenhans, H.W., Barrie, J.V., Lewis, C.F.M., Parrott, D.R. The physical processes of seabed disturbance during iceberg grounding and scouring // *Continental Shelf Research*. – 1991. – V. 11. № 8-10. – P. 939–961.

152. Wright, D.J., Roberts, J.T., Fenner, D., Smith, J.R., Koppers, A.P., Naar, D.F., Hirsch, E.R., Clift, L.W., Hogrefe, K.R. Seamounts, Ridges, and Reef Habitats of American Samoa // Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats. Elsevier Insights series. – 2012. – P. 791-806.
153. Yamanaka, K.L., Picard, K., Conway, K.W., Flemming, R. Rock Reefs of British Columbia, Canada: Inshore Rockfish Habitats // Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat: GeoHab Atlas of seafloor geomorphic features and benthic habitats. Elsevier Insights series. – 2012. – P. 509-522.
154. Zhamoida, V., Ryabchuk, D., Kropatchev, Y., Kurennoy, D., Boldyrev, V., Sivkov, V. Recent sedimentation processes in the coastal zone of the Curonian Spit (Kaliningrad region, Baltic Sea) // Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. - 2009. – V. 160. – № 2. - P. 143–157.