

О необходимости создания единой базы данных по свойствам строения морского дна

С. Л. Никифоров ¹, доктор геолого-минералогических наук,
Л. И. Лобковский ², член-корреспондент РАН,
Е. А. Романевич ³, доктор геолого-минералогических наук,
Н. О. Сорохтин ⁴, доктор геолого-минералогических наук,
Н. В. Либина, кандидат технических наук
Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН

И. А. Селезнев, доктор технических наук, М. Я. Андреев, И. Я. Рубанов,
В. А. Попов ⁵, кандидат технических наук
ОАО «Океанприбор», Санкт-Петербург

С. М. Кошель ⁶, кандидат географических наук
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Освоение пространств и ресурсов Мирового океана связано с острой необходимостью разработки новых технических средств и передовых технологий для изучения геологических, гидроакустических и гидрографических свойств строения морского дна включая систематизацию и типизацию имеющихся разрозненных данных с возможностью их последующей интеграции в цифровые модели, создаваемые на базе геоинформационной системы. База данных по характеристикам морского дна является важнейшим компонентом глобальной многослойной оболочки такой системы. Опыт морской деятельности свидетельствует о необходимости комплексного анализа параметров по свойствам морского дна как для фундаментальных исследований, так и для прикладных работ, в том числе оборонных.

Ключевые слова: базы данных, цифровая модель рельефа, рельеф, морское дно, акустические свойства.

Освоение пространств и ресурсов Мирового океана — одно из главных направлений морской политики, это обязательное условие расширения сырьевой базы Российской Федерации с целью обеспечения ее экономической и продовольственной независимости. В пределах шельфа России сосредоточены огромные запасы углеводородов, причем наибольшая разведанная их часть приходится на моря западной Арктики. В связи с этим необходима разработка новых технических средств и передовых технологий для изучения геолого-геоморфологических, гидроакустических, гидрографических характеристик, в первую

очередь шельфовой зоны как наиболее перспективной с точки зрения промышленного освоения. Однако в настоящее время имеется ряд недостатков, существенно влияющих на эффективность информационного обеспечения морской деятельности. К ним относятся наличие большого количества технико-программных решений в части доступа к данным, способов хранения, сжатия, визуализации данных; использование далеко не всегда апробированных методов анализа и прогноза параметров состояния морей и океана; техническая обособленность информационных потоков, что не позволяет анализировать различную информацию для принятия решений в реальном времени; низкая эффективность вычислительного оборудования.

В России отсутствует единый центр хранения и обработки всей геологической, геофизической, геохимической, геоморфологической, гидрографической, гидрофизической информации в части описания морского дна. Применяемые базы данных по

¹ e-mail: nikiforov@ocean.ru.

² e-mail: llobkovsky@ocean.ru

³ e-mail: romankevich@ocean.ru.

⁴ e-mail: nsorokhtin@ocean.ru.

⁵ e-mail: mail@oceanpribor.ru.

⁶ e-mail: skoshel@mail.ru.

рельефу и свойствам морского дна содержат только среднестатистические значения этих характеристик среды, осредненных по большим районам акваторий Мирового океана, что снижает точность применяемых методик расчета параметров акустического поля для адаптивных, согласованных со средой алгоритмов вторичной обработки режимов, применяемых в гидроакустических комплексах. Учет геолого-геоморфологических и акустических характеристик по трассе необходим для разработки систем обнаружения, классификации и оценки текущих координат, а также параметров движения цели. Для создания отечественных конкурентоспособных гидроакустических комплексов необходимо усовершенствовать алгоритмы расчетов для учета результатов оперативного мониторинга морской среды и определения параметров движения цели.

Отрывочность сведений или отсутствие данных о геолого-геофизических факторах в районах боевой подготовки и/или боевого предназначения, освоения океана, хозяйственной деятельности и экологических угроз может привести к срыву или неэффективному решению поставленных задач. Отечественный и зарубежный опыт свидетельствует о необходимости создания системы мониторинга и прогноза геолого-геофизических полей, применимой как на этапах планирования, так и в процессе морской деятельности.

Проблемы учета гидрофизических, геологических и геохимических характеристик среды приобретают особую значимость для Северного Ледовитого океана в силу важности решения задач в экстремальных условиях арктического региона. Происходящее в последние годы глобальное изменение климата, особенно в районе арктического шельфа, серьезно изменило представления специалистов о возможности морской деятельности в экономически важных районах Арктики, в том числе по трассе Северного морского пути. Климатические изменения приведут к усилению термоабразионных процессов, особенно на побережье моря Лаптевых и Восточно-Сибирского моря. В результате поступления большого объема осадочного материала в пределы верхней части шельфа существует вероятность изменения фарватера Северного морского пути, который в указанных акваториях проходит вдоль береговой линии на небольшом расстоянии. Кроме того, последние исследования позволили обнаружить новое явление — массивный выброс метана на арктическом шельфе. Развитие этого процесса должно, как наиболее вероятный сценарий, изменить физические и биогеохимические свойства верхней осадочной толщи, что, в свою очередь, способно привести к труднопредсказуемым последствиям с огромными материальными затратами для их минимизации. При продолжающейся дегградации гидратсодержащих подводных многолетнемерзлых пород эмиссия метана будет увеличиваться, приобретая на фоне дегградации многолетнемерзлых пород на суше

и усиления термоабразионных процессов на побережье значение глобального экологического риска. Данная проблема также непосредственно связана с безопасным освоением нефтегазовых месторождений шельфа, а также эксплуатацией Северного морского пути.

База данных по свойствам морского дна является важнейшим компонентом глобальной многослойной оболочки геоинформационной системы (ГИС). Преимущество многослойной оболочки ГИС заключается в возможности формировать неограниченное число слоев, характеризующих те или иные свойства морского дна. Ограничениями служат рациональность и оптимизация действий при решении поставленных задач, здравый смысл и операционная мощность вычислительной техники. Важнейшие компоненты базы данных — система сбора первичных данных, система хранения и систематизации данных о рельефе и структуре осадочной толщи, собственно база данных и построенные на их основе цифровые модели рельефа (ЦМР) дна и осадочной толщи. Под ЦМР дна и осадочной толщи понимается организованная структура файлов, содержащих векторные представления пространственных объектов разного типа, атрибутивную информацию о них и топологические соотношения между ними. Представляется крайне перспективной реализация геоакустического моделирования морского дна на основе информационной системы, использующей современные достижения в области аппаратных и программных средств. Моделирование рельефа и структуры дна с некоторой долей условности можно разделить на два типа — создание генеральных моделей рельефа дна крупных акваторий в условиях резкого дефицита пространственно-координированных отметок глубины и моделирование рельефа дна небольших по площади участков с достаточным количеством данных. Генеральные модели рельефа дна должны являться основой для определения «ключевых» участков шельфа с детальным промером глубин для решения фундаментальных и особенно практических задач. При промышленном освоении шельфа они необходимы на стадии обоснования, планирования и определения георисков, разведки и строительства, а на стадии эксплуатации служат основой для мониторинга, обеспечения мероприятий по отражению возможных угроз включая природные и т. п. Данный подход наиболее адекватен для оптимизации материальных затрат, учитывая большую (порой огромную) стоимость натуральных изысканий. Необходимо учитывать и то обстоятельство, что именно генеральные модели сводят к минимуму возможные и неизбежные неточности на всех стадиях изысканий и эксплуатации. Несмотря на логичность предлагаемых решений, до настоящего времени данная последовательность действий не очевидна для многих производственных организаций и объединений.

Моделирование рельефа дна и осадочной толщи крупных акваторий всегда сопровождается



Рис. 1. Цифровая модель рельефа дна Белого моря

дефицитом первичных данных, а равномерной и детальной изученности рельефа дна не стоит ожидать и в ближайшем будущем. Поэтому необходимо использовать имеющуюся геолого-геоморфологическую информацию. Однако при составлении цифровых карт рельефа дна редко учитываются его условия развития, структурная принадлежность, тип отложений, палеогеографические условия формирования. Не привлекаются геофизические, геологические, геоморфологические и другие данные и не проводится их комплексный анализ, а для построения модели необходимы четкие и общепринятые представления о всем многообразии форм рельефа, его развитии и происхождении. В связи с этим развитие подобных исследований возможно на стыке разных отраслей знаний — геоморфологии, геологии, геохимии, геофизики, картографии, акустики и математического программирования. При этом геоморфологические исследования являются основой для изучения морфологии и динамики рельефа, геологические, геофизические и геоморфологические исследования определяют генезис, возраст рельефа и особенности палеогеографического развития, акустические исследования — характер и особенности распространения параметров звука. Картографические и программные

исследования формируют базы данных, определяют решение картографических и геодезических задач, пересчетов различных проекций и т. д.

При построении модели (рельефа дна, слоев верхней осадочной толщи и пр.) традиционные методы интерполяции только по точкам из-за недостатка данных не позволяют создать цифровую модель, точно и адекватно отражающую небольшие по размерам формы рельефа дна (например, образованные под влиянием экзогенных факторов). Поэтому ручная обработка карт и проведение дополнительных изобат на основе комплексного морфогенетического анализа имеющегося фактического материала включая данные натуральных исследований — необходимый этап в подготовке исходных данных для моделирования. Нами использован подход, основанный на быстром вычислении расстояний до двух ближайших изолиний разного уровня (расстояния измеряются вдоль линий, не пересекающих изобаты) и последующей линейной интерполяции между уровнями этих изолиний. Главной особенностью данного алгоритма является интерпретация изолиний как векторных линейных объектов, что позволяет корректно определять глубины на участках, ограниченных только изолинией одного уровня, исходя из значений на смежных

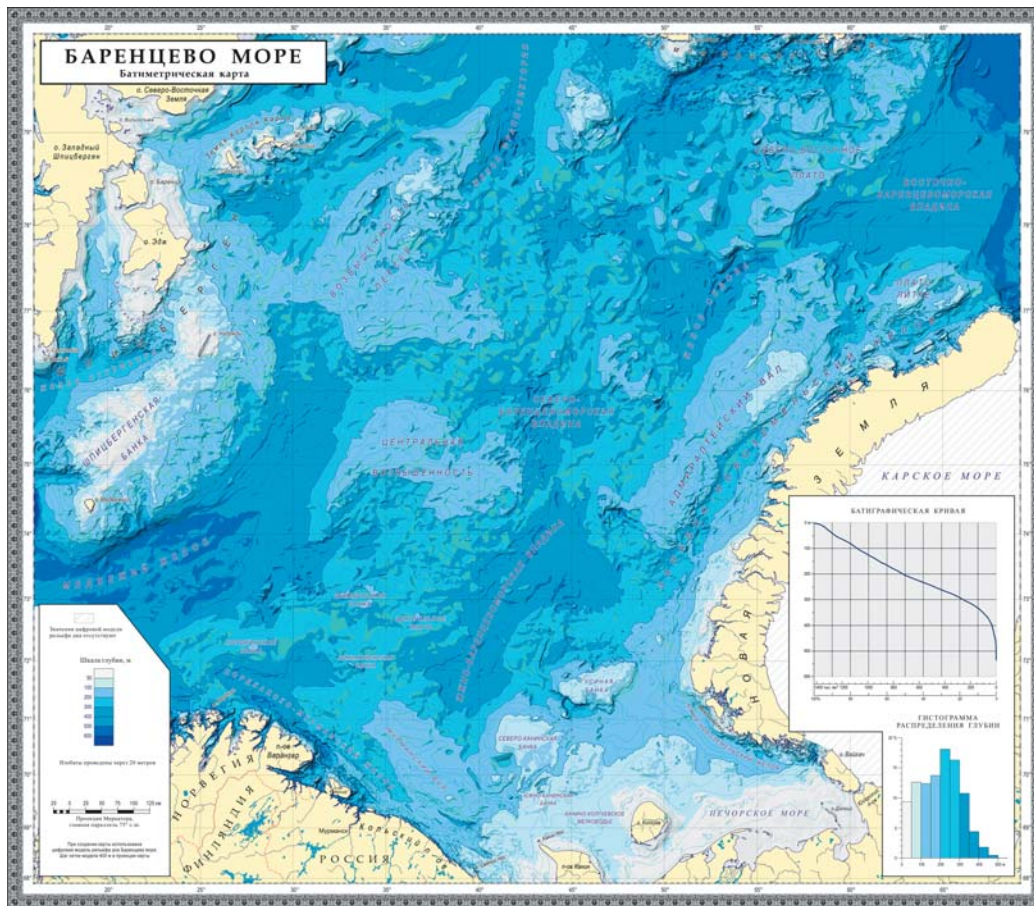


Рис. 2. Цифровая модель рельефа дна Баренцева моря

участках (и, соответственно, достоверно строить модель в замкнутых повышениях и понижениях рельефа морского дна). Указанный подход гарантирует наиболее полное совпадение исходных изобат с изобатами, построенными по цифровой модели (небольшие отличия в геометрическом положении обусловлены только дискретным характером сеточной модели и не превышают долей размера ячейки сетки). Таким образом, в модели сохраняются все мелкие формы рельефа, выраженные в исходных изобатах на карте. Примеры ЦМР дна (картографический облик) представлены на рис. 1 и 2.

ЦМР отображает рельеф дна в заданном масштабе без потери первоначальной степени детальности как для всего моря, так и для его отдельных частей. Кроме того, ЦМР дает возможность строить профили рельефа дна с любой частотой и в любом направлении, а также использовать средства морфометрического анализа в ГИС. При создании карт ЦМР позволяет в полном объеме использовать современные геоинформационные (картографические) технологии.

Для проведения специализированных геолого-геоморфологических работ либо геоакустических расчетов необходимы еще более детальные данные с сохранением первичной сейсмоакустической

и крайне подробной информации о морфологии (включая расчлененность) рельефа дна и других характеристиках. В этом случае необходимо провести систематизацию, типизацию и районирование рельефа (основное различие между геоакустическим районированием и типизацией состоит в том, что при типизации главный критерий — качественные различия, а при районировании — количественные). Для этого на ЦМР необходимо выделить области, где изменения геолого-геоморфологических параметров будут относительно невелики, при этом систематизацию (типизацию, районирование) логично проводить согласно с классификацией, которую возможно детализировать в соответствии с целями и задачами исследований.

С использованием данных ЦМР дна возможен расчет серии морфометрических показателей, которые базируются на вычислении производных сеточных цифровых моделей по исходной ЦМР. Помимо углов наклона по ЦМР дна может быть вычислен целый ряд других морфометрических показателей. Как правило, алгоритмы для их вычисления базируются на использовании метода «скользящего окна» (иногда используют термин «фильтрация»). Выбирается область определенных формы и размера, центр области помещается в узел сетки, и делается выборка

всех значений ЦМР, попавших в эту область. Значение требуемого показателя в центре окна далее вычисляется по полученной выборке. Описанная операция повторяется для каждого узла сетки ЦМР. В результате получается новая сеточная цифровая модель, в узлах которой хранятся значения вычисленного показателя.

В распределении поверхностных отложений и строении верхней осадочной толщи наблюдается отчетливая связь с современной поверхностью рельефа дна и его отдельными формами. Поэтому картирование поверхностных осадков должно проводиться по ЦМР. Основой первичных данных о поверхностных отложениях являются пробы, полученные в натурных условиях с помощью различных технических средств (дночерпателей, геологических трубок различных типов и модификаций и пр.). Для характеристики осадочной толщи дополнительно используются данные сейсмоакустического профилирования и бурения включая литолого-геохимическое изучение кернов. Поскольку отбор проб осадков проводится в ограниченном числе точек, то основной задачей обработки геолого-геоморфологической информации является обобщение точечных натуральных данных на площадь района обследования. Геоакустические параметры, измеренные по образцам осадков, можно связывать с типом осадка. Такой подход позволяет экстраполировать полученные данные на большие площади дна.

Природные процессы сформировали в целом слоистую толщу морских осадков различной мощности и выраженности. Формирование основных акустических границ связано с крупными, а подчас глобальными палеогеографическими событиями. Данные бурения позволяют получить геологические параметры слоя по вертикали (включая возраст и данные по физическим свойствам осадков), а результаты сейсмического профилирования позволяют описать изменения мощности каждого слоя в пространстве. Таким образом, возможно построение серии поверхностей изопакит (карт мощностей) для разных возрастных срезов (например, мощностей голоценовых, четвертичных отложений и т. д.) с обоснованием их происхождения.

Предлагаемая концепция дает возможность разработать эффективный алгоритм, описывающий все этапы геоакустического моделирования морского дна с использованием комплекса междисциплинарных показателей.

Развитие подобных исследований необходимо для морской геологии и геоморфологии, а также картографии, палеогеографии, геоэкологии, гидроакустики и других прикладных направлений исследований, а именно:

- мониторинга и определения возможного изменения рельефа и структуры морского дна в условиях нарастающего антропогенного пресса включая негативный эффект от разработки и эксплуатации месторождений углеводородов;

- планирования и организации морской деятельности в условиях возможного увеличения сроков навигации в Арктике;
- использования данных о свойствах дна для проектно-строительных и инженерно-геологических работ;
- определения границ распространения на шельфе многолетнемерзлых пород и последствий их вероятной деградации в условиях потепления;
- развития оперативной океанологии;
- разработки и эксплуатации гидроакустических средств подводного наблюдения, в том числе для прогноза их потенциальной дальности действия, а также при обработке гидроакустической информации.

Данные по строению рельефа и осадочной толще необходимы при решении экологических проблем. Одной из главных среди них является ликвидация опасности со стороны распространения от уже просачивающихся из контейнеров техногенных радионуклидов, захороненных во фьордах (например, Карского моря, архипелага Новая Земля). По мере их дальнейшей разгерметизации в результате коррозии радиоактивная загрязненность морских осадков и ареал их распространения еще больше возрастут. Дальнейший разнос уже в акваторию открытого моря будет зависеть от гидродинамической активности, которая, вероятно, усилится (с одновременным сокращением ледяного покрова), от характера рельефа морского дна и верхней осадочной толщи как природного аккумулятора этих отходов. Не поддается учету количество «потерянного» антропогенного «мусора» по ходу следования судов. Весь этот смертоносный и активный до настоящего времени материал находится на поверхности морского дна, изменяя природный естественный фон верхней осадочной толщи. Без знания рельефа и геологического строения осадков (геомодели) и гидрофизических данных невозможно построить прогнозную модель возможной миграции антропогенных отходов на ближайшее и обозримое будущее.

Информация о морском дне необходима и при решении геополитических задач — например, определении внешней границы арктического континентального шельфа России, для чего согласно требованиям Конвенции ООН по морскому праву необходимо в первую очередь создание модели рельефа дна.

Предлагаемые комплексные исследования являются новыми не только в нашей стране, но и за рубежом. Разработанная методика геоакустического моделирования является собственной разработкой и не имеет зарубежных аналогов. В настоящее время необходимо создать и внедрить базы данных геолого-геофизических, геохимических и геоакустических характеристик морей Российской Федерации и средства текущего мониторинга параметров среды для оперативно важных районов океана.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 13-05-12029-офи и № 14-05-00408-а.