

Исследования рельефа дна Арктического бассейна по обеспечению многоцелевых программ экологической безопасности

Г.Д. Нарышкин, доктор географических наук,
Д.М. Петров, кандидат технических наук,
ФГУП Центр “Севзаппгеоинформ”

В статье рассмотрены основные направления экологических исследований Арктического бассейна представленные Проектом реализации технологической платформы «Технологии экологического развития». Рассмотрена специфика исследований единой экологической системы бассейна от шельфа до абиссальных глубин, процессы динамики которой контролируются разнопорядковыми формами рельефа дна в широком батиметрическом диапазоне. Представлены наиболее оптимальные варианты решения экологических проблем Арктики по результатам геоморфологических исследований базы батиметрических данных отечественной гидрографии

Освоение минеральных ресурсов Мирового океана привело к необходимости широкомасштабных экологических исследований по обеспечению экологической безопасности акваторий при проведении поисковых геолого-разведочных работ, освоении морских нефтегазовых месторождений, в том числе и в районах, покрытых льдом. Наиболее актуальны экологические исследования акваторий замкнутых бассейнов, к которым относится Арктический бассейн Северного Ледовитого океана. Необходимость и своевременность экологических исследований этого региона объясняется достаточно близкими перспективами освоения морских нефтегазовых месторождений на шельфе арктических морей России, и основные направления экологических исследований бассейна представлены Проектом реализации технологической платформы «Технологии экологического развития» [13].

В основу многоцелевых исследований океана положен рельеф дна, как одно из наиболее объективных потенциальных полей Земли. Специфика морских экологических исследований определяется зависимостью динамики компонентов исследуемой среды и распределения их на акватории от рельефа дна, разнопорядковые формы которого контролируют процессы динамики среды. Арктический бассейн в рельефе представляет замкнутую ортографическую систему, которую необходимо рассматривать как единую экологическую систему в батиметрическом диапазоне от поверхности до абиссальных глубин, основные компоненты которой взаимосвязаны и контролируются разнопорядковыми формами рельефа. Как единую экологическую систему, исследования бассейна необходимо рассматривать вне пределов политических ограничений –

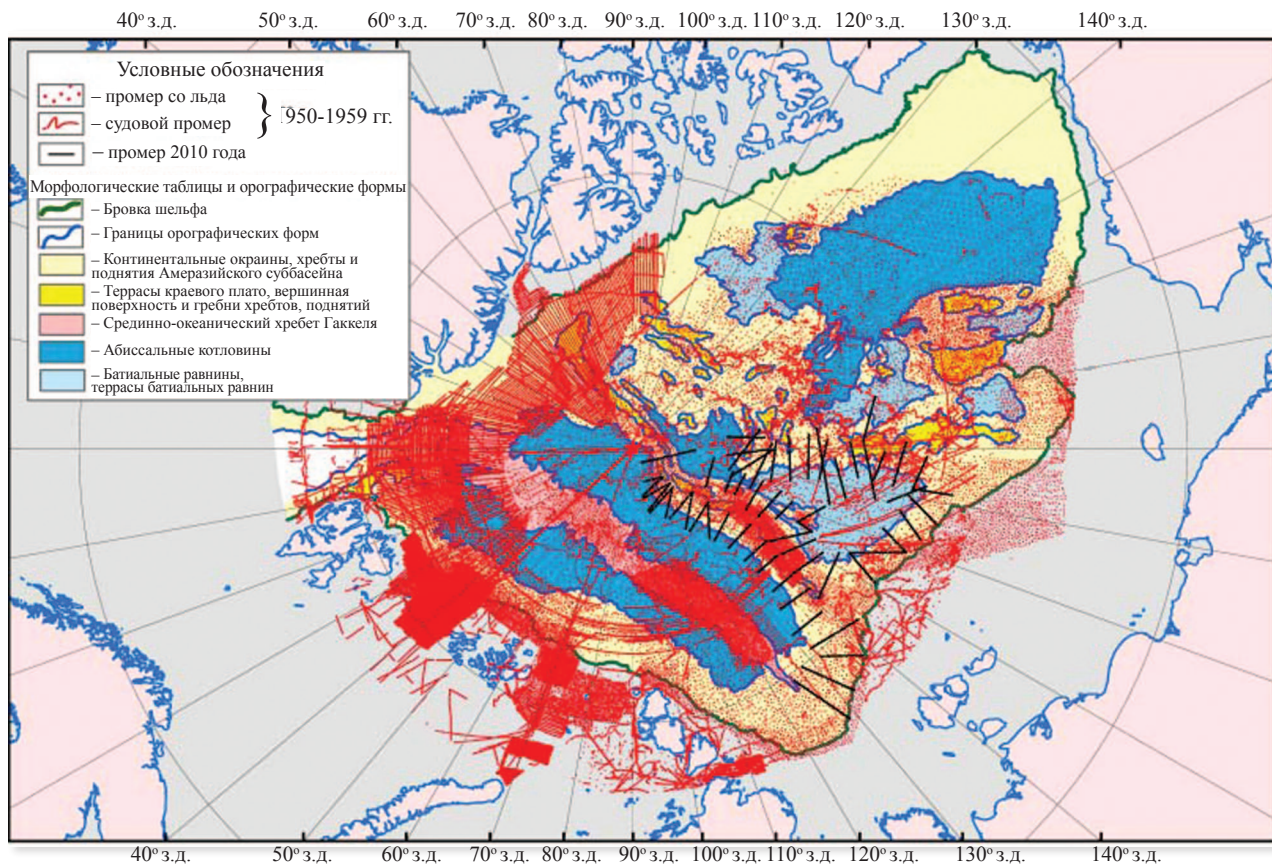


Рис.1
Гидрографические исследования России глубоководного Арктического бассейна [5]

существующих и предполагаемых государственных границ, совместно с результатами исследований приарктических государств.

В контексте разделов указанной Программы наиболее актуальны разработки технологии управления экологическими рисками при освоении месторождений шельфа. Опыт работ на разных стадиях проектирования подводных трасс северных морей России показал, что рельеф не только контролирует динамику среды, но также по своим морфометрическим характеристикам (горизонтальная и вертикальная расчленённость рельефа, углы наклона дна форм, их высота, ширина, пространственное положение и т.д.) определяет наиболее оптимальные маршруты трасс подводных коммуникаций во избежание последующих экологических рисков при эксплуатации месторождений. В силу указанных выше причин, исследование разнопорядковых форм рельефа по результатам работ отечественной гидрографии и должно быть положено в основу широкомасштабных экологических исследований.

Гидрографическая изученность России на акватории глубоководного бассейна представлена

более 130000 измерений глубин в различных геоморфологических провинциях, приблизительно на 80% площади бассейна (рис.1) [5]. По результатам этих работ рельеф дна Арктического бассейна достаточно подробно рассмотрен многочисленными работами отечественных специалистов [3,4,7,8,9,10,11,12]. Орографическая и батиметрические карты масштабов 1:5000000 и 1:2500000 отображают комплексы противоположных по знаку разнопорядковых форм рельефа, что необходимо для анализа динамики компонентов экологических исследований (рис.2,3,4). Следует заметить, что результаты геоморфологических исследований России в Арктике востребованы и для решения другой не менее важной задачи – проблемы делимитации Арктического бассейна в соответствии с требованиями Конвенции ООН по морскому праву [2,6]. Для решения этих проблем в равной степени необходим детальный анализ батиметрических данных для определения положения и морфометрических характеристик разнопорядковых форм рельефа глубоководной акватории и на шельфе. Однако специфика динамики компонентов экологических исследований, предопределяет некоторые

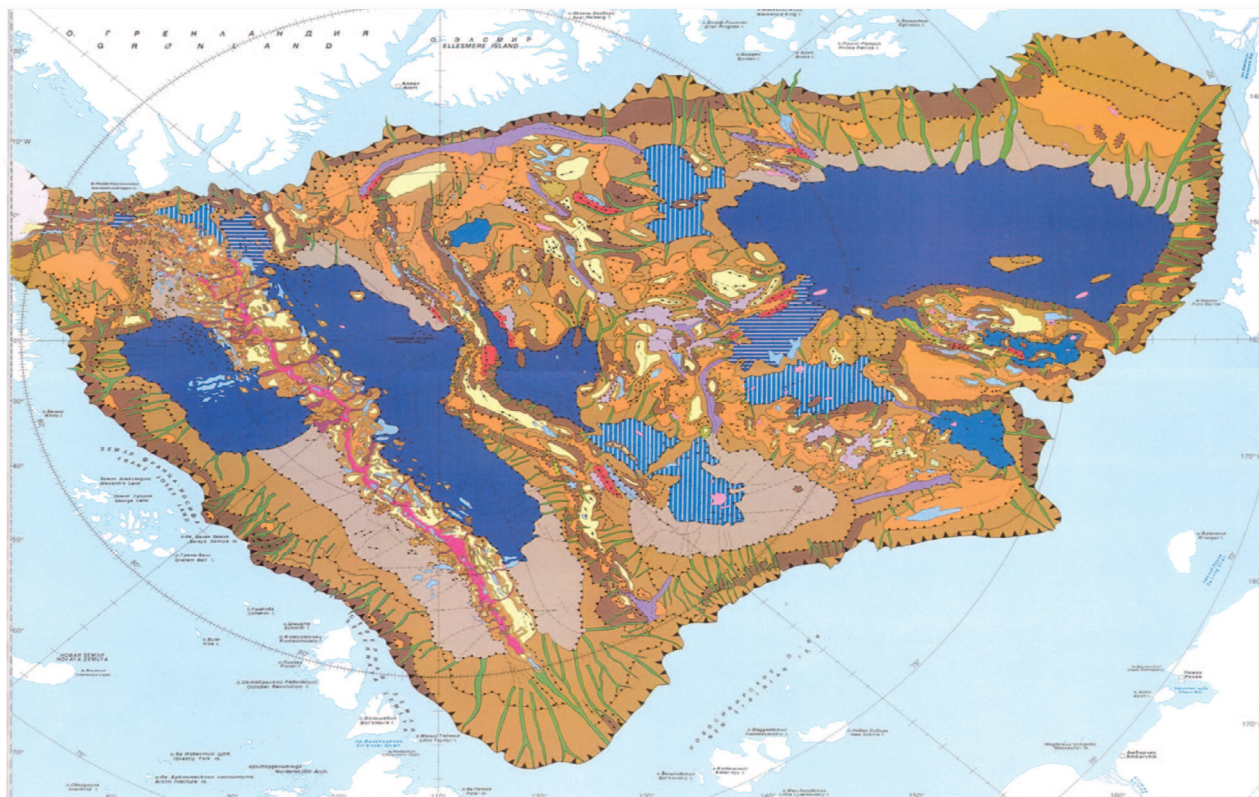


Рис.2
Орографическая карта Арктического бассейна [1995]

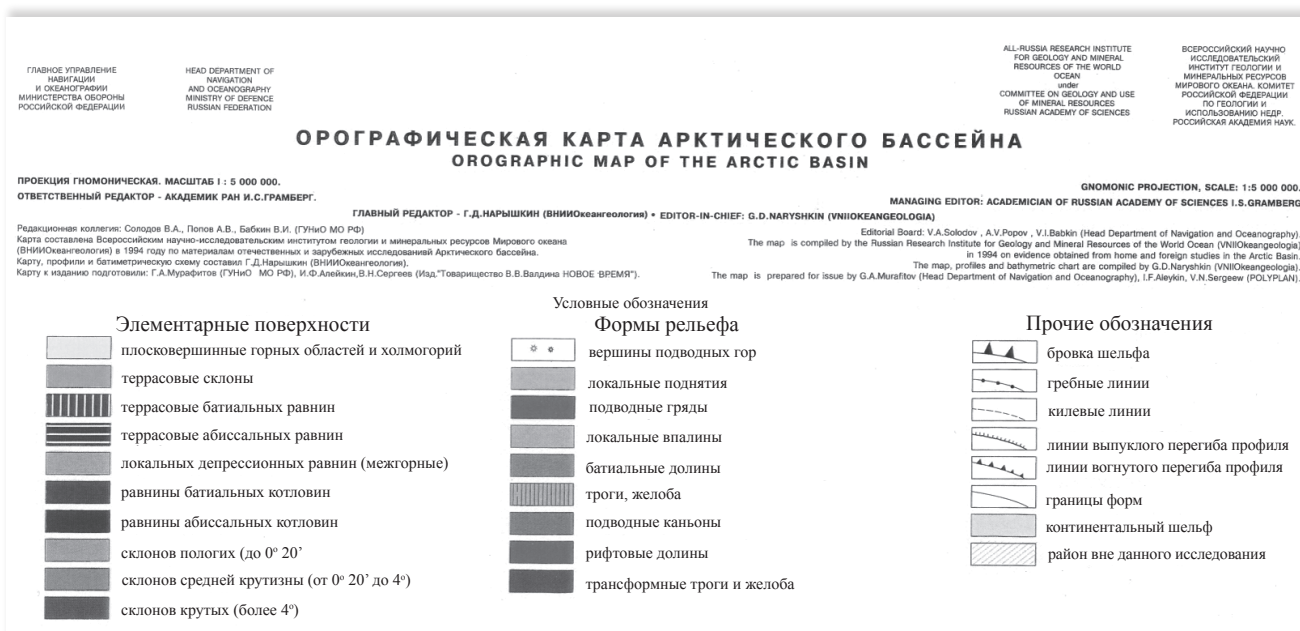


Рис.3
Условные обозначения к орографической карте [1995]

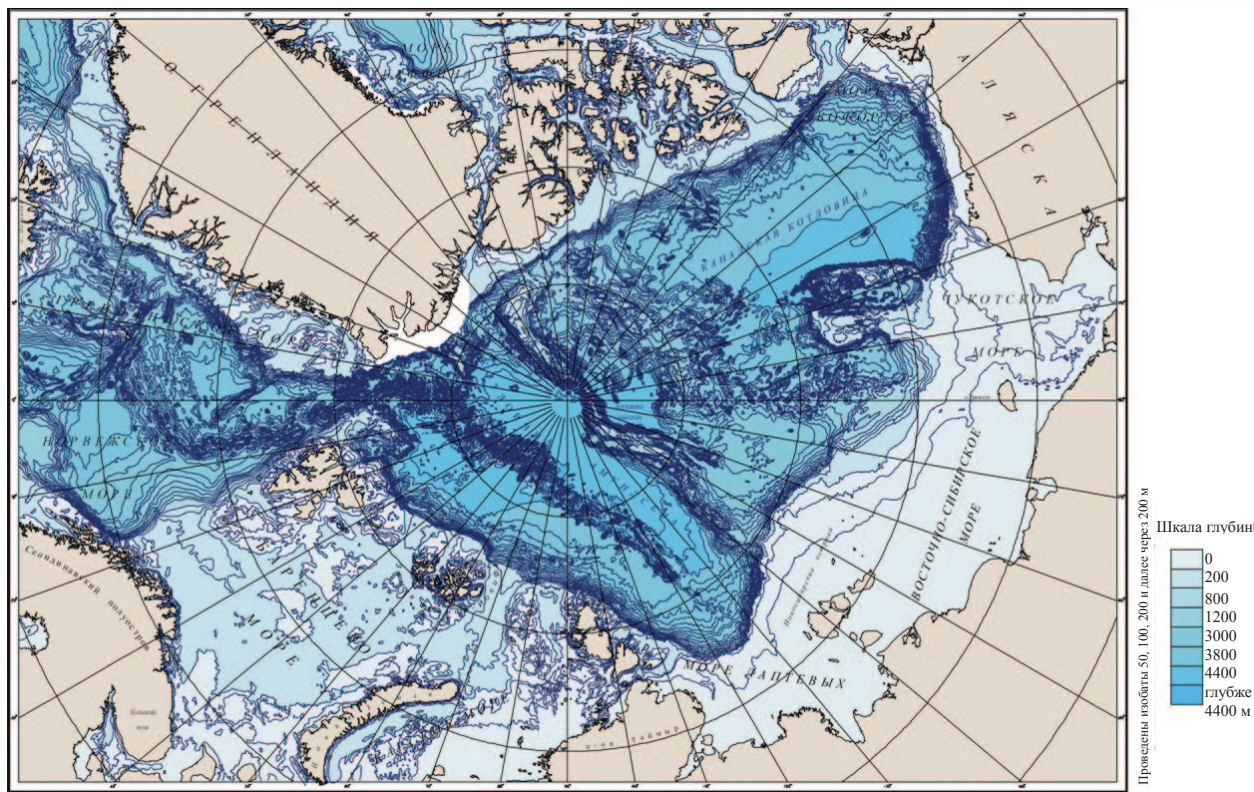


Рис.4
Батиметрическая карта Северного Ледовитого океана [1999]

различия батиметрических построений. Представим наиболее общие выводы результатов исследований рельефа бассейна, необходимые для решения технических и технологических проблем Технологической платформы в Арктическом бассейне.

В рельефе Арктический бассейн представляет замкнутую орографическую систему, граница которой в проливе между архипелагом Шпицберген и о.Гренландия (от 79°с.ш. до 80°с.ш.) расположена на обширной седловине с глубинами порядка 2600м. К северу и югу от этой седловины (Арктический и Норвежско-Гренландский бассейны) глубины увеличиваются на 1700м и 1000м, соответственно.

Акватория глубоководного Арктического бассейна ограничена непрерывной по простиранию бровкой шельфа (исключая пролив Фрам) на глубинах от 100 м до 400 м. Глубина бровки увеличивается до 600 – 800 м в районе шельфовых желобов. Наиболее значительна ширина Баренцево-Карского шельфа (до 1700 км), а также шельфа морей Лаптевых, Восточно-Сибирского и Чукотского, расположенных в пределах традиционного Российского сектора Арктики. Континентальный склон бассейна по простиранию интенсивно расчленён каньонами (глубиной заложения до 600 м) от бровки шельфа (с

глубиной вреза каньонов до 50 м) до границы континентального подножия с абиссальными равнинами и батинальными впадинами. По этой причине исследование рельефа и картографирование в зоне шельфа – верхняя часть склона имеет важное значение для экологических исследований.

По комплексу разнопорядковых форм в рельефе глубоководного Арктического бассейна выделяются два суббассейна – Евразийский и Амеразийский в установленных ранее границах по хребту Ломоносова в котловине Амундсена. Это районирование подтверждается различием батиметрического уровня суббассейнов (Амеразийский “приподнят” на 500 м относительно Евразийского) и принципиальным различием их морфологии.

В рельефе Евразийского суббассейна выделяются провинции срединно-океанического хребта Гаккеля с котловинами Нансена и Амундсена, расположенными на разных батиметрических уровнях (4000 м и 4300 м, соответственно), что объясняется различием режима седиментации в котловинах. Хребет Гаккеля является внутренним хребтом Евразийского суббассейна и в рельефе не соединяется с системой срединно-океанических хребтов Норвежско-Гренландского бассейна.

В рельефе Амеразийского суббассейна выделяются две провинции – Канадская котловина и провинция хребтов и поднятий.

Провинция хребтов и поднятий представляет единую, морфологически связанную в батимальном и абиссальном диапазонах глубин, систему поднятий и впадин. По комплексу морфоструктур в пределах провинции хребтов и поднятий выделяются три субпровинции – краевое поднятие (хребет Ломоносова) и система поднятий, состоящая из хребта Альфа и поднятий Менделеева, Чукотского, Нортуинд, сопряженных с впадинами Менделеева, Чукотской и Стефансона. Разделяющая обе системы поднятий Русская депрессия представляет погруженную в батиметрическом отношении обособленную область с водоразделами, соответствующими бровке хребта Ломоносова, с одной стороны, и бровке поднятия Менделеева с гребневой зоной системы блоков Альфа, с другой стороны. Осевая зона Русской депрессии представлена серией террас и впадин Подводников–Макарова–безымянная, упорядоченных по 500-метровому диапазону глубин.

Краевое поднятие (хребет Ломоносова) состоит из четырех блоков, границы которых в рельефе определяются системами разрывных нарушений. Батиметрический уровень поверхности блоков увеличивается от противоположащих континентов в северном направлении.

Хребет Альфа и поднятие Менделеева различны по морфологическому составу, комплексу форм и батиметрическому положению. Хребет имеет обособленную гребневую зону, состоящую из двух кулисообразных трогов, ограниченных вулканическими грядами на глубинах 1200–1400 м. Протяженность хребта не превышает 400 км при ширине 100–120 км. Система разрывных нарушений флангов хребта подчинена Русской депрессии и впадинам Стефансона и Менделеева. Поднятие Менделеева по простиранию представлено серией террас, осложнённых малоамплитудными изолированными поднятиями, которые не формируют гребневую зону. Для хребта Альфа и поднятия Менделеева характерно увеличение батиметрического уровня от противоположащих континентов в северном направлении к батимальной долине на глубинах 2600 м, являющейся в рельефе границей раздела системы Альфа-Менделеева.

Провинция хребтов и поднятий Амеразийского суббассейна, как единая орографическая система, морфологически связана с противоположащими континентами на батимальном уровне глубин. Зона торцевого сопряжения провинции с окраиной

о.Элмир и Канадского Арктического архипелага представляет типичное краевое плато с тыловым швом на глубинах от 1000м до 1600м в направлении к впадине Стефансона. Зона сопряжения провинции с континентальной окраиной Евразии также представлена краевыми плато с тыловым швом на глубинах от 400 м до 1750 м. В этом районе провинция хребтов и поднятий осложнена наложенными на континентальный субстрат террасами и впадинами батимального уровня. Как единая орографическая система, представленная в рельефе комплексом противоположных по знаку форм, провинция хребтов и поднятий является естественным продолжением противоположащих континентов в Арктический бассейн. Увеличение батиметрического уровня этой провинции от противоположащих континентов в северном направлении к зоне батиметрического максимума определяет последнюю как границу Сибирско-Чукотского и Элмирского континентальных выступов оседания.

Рассматривая Арктический бассейн как единую экологическую систему, основные компоненты которой взаимосвязаны и контролируются рельефом дна, тем не менее очевидно, что особенности динамики компонентов этой системы различны в прибрежной зоне на границе с береговой линией, на шельфе, в зоне перехода шельф – склон и глубоководной акватории в различных батиметрических диапазонах.

Исследования динамики компонентов экологической системы глубоководных районов бассейна должны рассматриваться в диапазонах глубин компонентов, соответствующих батиметрическим диапазонам (и амплитуде) противоположных по знаку региональных форм. Здесь необходимо учитывать относительную глубину трогов, долин, желобов, террас и относительное превышение положительных форм, а также батиметрический диапазон по простиранию этих форм. Учитывая относительно небольшую площадь бассейна и интенсивную расчленённость его рельефа необходимо разномасштабное морфологическое и батиметрическое картографирование в масштабах гидрографической съёмки – 1:500000. Вероятно также для исследования динамики компонентов экологической системы (в установленных диапазонах глубин этих компонентов) глубоководных районов акватории целесообразно определить границы форм в этих же батиметрических диапазонах и указанных выше масштабах съёмки.

Экологические исследования шельфа арктических морей относятся к наиболее важному направлению исследований, связанных с определением возможных рисков при разработках нефтегазовых

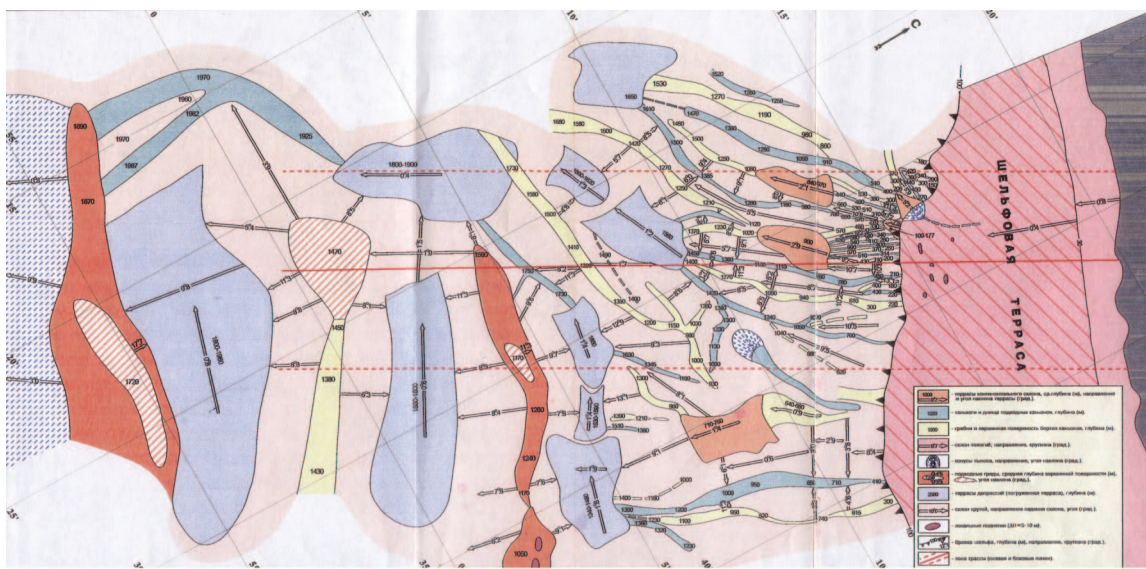


Рис.5
Инженерно-морфологическая схема

месторождений. Для контроля и прогноза вероятных экологических рисков необходимы региональные (для каждого из морей) геоморфологические (морфологические и морфометрические) исследования баз батиметрических данных шельфа, которые приведут к созданию разномасштабных морфологических и батиметрических карт шельфа, рельеф которых однозначно контролирует динамику компонентов экологических исследований в широких батиметрических диапазонах. Необходимость региональных исследований рельефа арктических морей объясняется различием глубин и комплекса форм западных и восточных морей. Например, на разных стадиях проектирования по освоению Штокмановского газоконденсатного месторождения в Баренцевом море, на глубинах 326 м, проект трассы газопровода в направлении Кольского полуострова определялся с учётом вертикальной и горизонтальной расчленённости рельефа, высоты и углов наклона дна форм на трассе газопровода (предельно-допустимый угол $0^{\circ},9$) и предельного радиуса горизонтального уклонения от прохождения трассы (приблизительно 15°). Термокарстовые формы рельефа Баренцева моря представлены множеством положительных форм Месса-бьют высотой до 80 м, при крутизне склонов до 18° и основанием эллиптической формы до 300–4000 м по большой оси. Отрицательные формы представлены трогами различной пространственной ориентировки, относительной глубиной до 20 м, при ширине от 20 м до 1000 м. Проектирование и эксплуатация трассы газопровода без учёта результатов анализа батиметрических

данных может привести к непредсказуемым экологическим рискам. Исследования рельефа дна относительно мелководных (глубины 15–25 м) восточных арктических морей для проектирования по разработке газоконденсатных месторождений также позволили установить особенности рельефа, связанные со спецификой инженерно-геологических условий акваторий, что предопределяет необходимость совместных профилируемых прогнозных исследований. В этой связи создание технологии прогнозирования состояния окружающей среды (в соответствии с Программой ТП) на поиск, разработку, разработку и добычу полезных ископаемых на шельфе арктических морей должно основываться на исследовании рельефа дна, с учётом региональной специфики рельефообразующих процессов. В дополнении к обоснованию необходимости указанных исследований рельефа, целесообразна также разработка инженерно-морфологических региональных карт, использование которых приведёт к значительному снижению экологических рисков. Пример такого картографирования показал хорошие результаты при анализе рельефа трассы Южный поток в масштабе 1:50000, а также при анализе рельефа дна расчленённых районов Арктического бассейна в масштабе 1:500000 (рис.5) [1]. Результаты инженерно-морфологического картографирования определяют необходимое и безопасное положение трасс в зависимости от рельефа дна. Районы исследований, региональные батиметрические диапазоны и масштабы картографирования должны регламентироваться специалистами, определяющими

диапазоны динамики компонентов исследования экологической среды.

Одно из основных направлений исследования подводного рельефа шельфа – создание математической модели структурного каркаса (морфологической структуры поверхности) рельефа дна шельфа по результатам гидрографических исследований. Учитывая существенные различия генезиса форм шельфа арктических морей (термокарст, абразионный, аккумулятивно-абразионный, аккумулятивный и т.п. процессы) рельеф от западной до восточной границ арктического шельфа России имеет различные морфологические особенности, а также различные морфометрические и батиметрические характеристики.

Для реализации технологии управления экологическими рисками при освоении нефтегазовых месторождений на акватории шельфов, в том числе и районах покрытых льдом в комплексе с рельефом необходимы камеральные инженерно-геологические исследования для учёта процессов лито и гидродинамики прибрежной зоны на границе с береговой линией. Необходимость указанных исследований и корректуры исходных береговых линий, установленных на навигационных морских картах России, объясняется активной миграцией береговых линий (до 5 м в год) в результате термоабразионных, гидро и литодинамических процессов.

Принимая подводный рельеф за основу исследования единой экологической системы Арктического бассейна в широком батиметрическом диапазоне (от 0 м до абиссальных глубин), основное направление разделов Технологической платформы должно предусматривать геоморфологические исследования бассейна и разномасштабное картографирование, в основу которых положены результаты промера отечественной гидрографии. В соответствии с проектом реализации разделов Технологической платформы значительное внимание должно быть уделено исследованию рельефа шельфа арктических морей для технологических разработок управления экологическими рисками при освоении морских нефтегазовых месторождений на акваториях шельфовых морей и подо льдом. Для реализации программы экологических исследований шельфа необходимы результаты промера, имеющиеся в распоряжении УНиО МО РФ, в режиме конфиденциального пользования. Без этих материалов реализация проблем экологической безопасности при освоении морских нефтегазовых месторождений шельфа не имеет смысла.

Предметный анализ решения экологических проблем Арктического бассейна позволил опреде-

лить основные направления геоморфологических исследований.

1 Глубоководный Арктический бассейн

1.1. Создание отечественной базы ретроспективных батиметрических данных глубоководного Арктического бассейна и её корректура по результатам исследований России последних лет. Оценка точности базы батиметрических данных.

1.2. Сравнительный анализ базы батиметрических данных России с международной базой батиметрических данных ИВСаО по всем геоморфологическим провинциям бассейна. Результаты анализа и обоснование по использованию базы данных России для реализации указанной Программы.

1.3. Морфометрический и морфологический анализ базы батиметрических данных России для определения границ геоморфологических провинций бассейна: континентальных окраин – бровка шельфа, подножие континентального склона и континентального подножия с абиссальными равнинами и границ разнопорядковых, противоположных по знаку форм рельефа. Оценка точности установленных границ.

1.4. Составление батиметрических карт глубоководного Арктического бассейна с использованием различных методов (преобразование базы данных в регулярную сеть измерений при различных размерах ячейки – грида, геоморфологическая интерполяция) и программных средств. Масштаб 1:500000 и 1:1000000, сечение рельефа 100 м. Сравнительный анализ результатов картографирования по всем геоморфологическим провинциям с результатами исследований России 2010 года и корректура рельефа с использованием традиционных методов геоморфологической интерполяции.

1.5. Анализ базы батиметрических данных от бровки шельфа до границ с абиссальными (батыальными) равнинами для определения положения каньонов и их морфометрических характеристик.

1.6. Разработка методики математического моделирования баз батиметрических данных глубоководной акватории бассейна для морфологического картографирования – составления структурного каркаса рельефа, элементарных поверхностей разнопорядковых форм и их границ.

1.7. Составление батиметрических и морфологических карт бассейна с сечением рельефа, соответствующим диапазону глубин компонентов динамики среды. Трёхмерное отображение форм рельефа таких диапазонов.

2 Шельф арктических морей России

2.1. Создание отечественных региональных баз ретроспективных батиметрических данных на акватории арктических морей России по материалам промера УНиО МО РФ. Оценка точности базы батиметрических данных.

2.2. Разработка методики математического моделирования баз региональных батиметрических данных арктических морей для морфологического картографирования – составления структурного каркаса рельефа, элементарных поверхностей разнорядковых форм и их границ, в зависимости от региональной специфики рельефообразующих процессов.

2.3. Составление региональных морфологических карт рельефа шельфа арктических морей от береговой линии до бровки шельфа в масштабах 1:500000.

2.4. Составление региональных батиметрических карт шельфа арктических морей с использованием различных методов (преобразование базы данных в регулярную сеть измерений при различных размерах ячейки – грида, геоморфологическая интерполяция) и программных средств. Масштаб 1:500000 и 1:1000000, сечение рельефа 5 м – 10 м. Корректурa рельефа с использованием региональных морфологических карт и традиционных методов геоморфологической интерполяции.

2.5. Составление региональных инженерно-морфологических карт шельфа арктических морей России, отображающих состав и структуру поверхности дна (морфология), экстремальные глубины, углы наклона дна и другие морфометрические характеристики рельефа.

2.6. Составление региональных инженерно-морфологических карт шельфа арктических морей России с инженерно-геологической характеристикой дна рассматриваемого региона.

Рассматривая Арктический бассейн как единую экологическую систему, все компоненты которой взаимосвязаны, необходим указанный выше геоморфологический анализ батиметрических данных геоморфологических провинций бассейна в целом. В противном случае, ограничиваясь политическими (не природными) критериями, возможно повторение ошибок, аналогичных при решении проблемы делимитации бассейна, когда определение положения континентальной окраины Арктического бассейна рассматривалось лишь в пределах традиционного сектора России в Арктике.

Литература

1. Козлов С.А., Неизвестнов Я.В., Нарышкин Г.Д., Раскатов В.Н. Особенности инженерно-геологических условий строительства линейных объектов в российском секторе Чёрного моря. Морские инженерно-геологические исследования. Тр. ВНИИОкеангеология, т.198. СПб. 2003. С. 73–78.
2. Конвенция ООН по Морскому Праву. Нью-Йорк, 1984.
3. Нарышкин Г.Д. Срединный хребет Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана. М. Наука, 1987, С. 72
4. Нарышкин Г.Д., Комарицын А.А., Каврайский А.В. Нестеров Н.А., Опарин А.Б., Фридман Б.С. Геоморфологические аспекты внешней границы континентального шельфа России в Арктике СПб ГУНиО МО РФ. 2005. С.60
5. Нарышкин Г.Д., Фридман Б.С., Алексеев С.П., Костенич А.В. Решение проблемы делимитации Арктического бассейна по результатам гидрографических исследований. Арктика: экология и экономика №3, 2011. С. 36–47.
6. Научно-техническое Руководство Комиссии по границам континентального шельфа. Пятая сессия. Нью-Йорк, 3–14 мая 1999г. С. 90с.
7. Объяснительная записка к картам Арктического бассейна: Орографическая карта Арктического бассейна, Рельеф дна Северного Ледовитого океана. СПб., 1999. С. 39
8. Орографическая карта Арктического бассейна. Масштаб 1:5 000 000 Отв. ред. Грамберг И.С., гл. ред. Нарышкин Г.Д., Хельсинки, Карттаекескус, 1995.
9. Рельеф дна Северного Ледовитого океана. Масштаб 1:5 000 000, проекция стереографическая. ГУНиО МО, ВНИИОкеангеология, РАН, СПб., 1998.
10. Фридман Б.С. Результаты гидрографических исследований и картографирование рельефа дна Арктического бассейна для определения внешней границы континентального шельфа России в Арктике. СПб. Наука, 2007, С. 208
11. Фридман Б.С. База батиметрических данных России для определения ВГКШ в Арктике. Геоинформатика. 2007. № 1. С. 15–22.
12. Центральный Арктический бассейн. Масштаб 1:2 500 000, по параллели 75°. Проекция стереографическая. СПб, ГУНиО МО РФ, №91115. 2002.
13. ige.rshu.ru/content/techplatform