

КАРТИРОВАНИЕ ОПАСНЫХ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И ПРОЦЕССОВ СЕВЕРНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТЕЙ ШЕЛЬФА БАРЕНЦЕВА МОРЯ ПО ДАННЫМ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

С. Ю. Соколов, Е. А. Мороз, Ю. А. Зарайская, А. С. Абрамова
Геологический институт РАН (Москва, Российская Федерация)

Р. А. Ананьев
Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Москва, Российская Федерация)

Е. А. Сухих
Геологический институт РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 9 октября 2022 г.

Картирование опасных геологических объектов и процессов гидроакустическими методами интенсивно развивается в районах арктических шельфов России. Накоплен значительный опыт выявления этих объектов и составления тематических карт, показывающих их свойства, пространственное распределение и соотношение с геологическими и тектоническими структурами. Большой объем данных и развитие экономической деятельности делают необходимыми выработку методики составления этих карт, разработку легенд и подход к их актуализации. Приведены образцы карт геологических опасностей, составленных по данным экспедиций на научно-исследовательском судне «Академик Николай Страхов».

Ключевые слова: геологические опасности, звукоакустические объекты, картирование, дегазация, арктический шельф, гидроакустические методы, «яркие пятна».

Введение

Возрастающая экономическая активность Российской Федерации в акватории арктических шельфов и прилегающих глубоководных областей сопровождается интенсивной навигационной и инженерной деятельностью, а также рядом промыслов, для которых абсолютно необходимо обновление топографической основы данных районов. Использование многолучевых эхолотов (МЛЭ), позволяющих получать сплошные цифровые модели рельефа (ЦМР) на шельфе вплоть до масштабов 1:5 000 и в глубоководной части до масштабов 1:50 000, в которых вся площадь ЦМР обеспечена измерениями, выводит результаты картирования на принципиально новый уровень качества. В сочетании с данными гидролокатора бокового обзора (ГБО), непрерывного сейсмического профилирования (НСП) и высокочастотного профилирования (ВП) верхней части разреза (ВЧР) осадков с разрешением вплоть до 0,1 м

упомянутые гидроакустические методы позволяют сформировать информативное отображение той части геологической среды, в которой осуществляется экономическая деятельность. Сказанное не относится к глубинным геофизическим методам разведки недр, которая осуществляется другим аппаратурно-методическим комплексом.

В процессе картирования выявляются объекты и процессы, представляющие собой опасности геологической природы, а также объекты, морфологию и строение которых необходимо учитывать при проведении различного вида работ на поверхности дна и в водной толще над дном. Их описанию на арктическом шельфе посвящена обширная литература, которую сложно перечислить полностью. В частности, в работах [1—24] описываются следующие объекты и процессы: покмарки (воронки, сформированные на дне выбросами газа); эмиссия газов в водную толщу (газовые факелы); борозды ледникового выпаживания; газовые скопления, формирующие аномалии сейсмоакустической записи типа «яркое

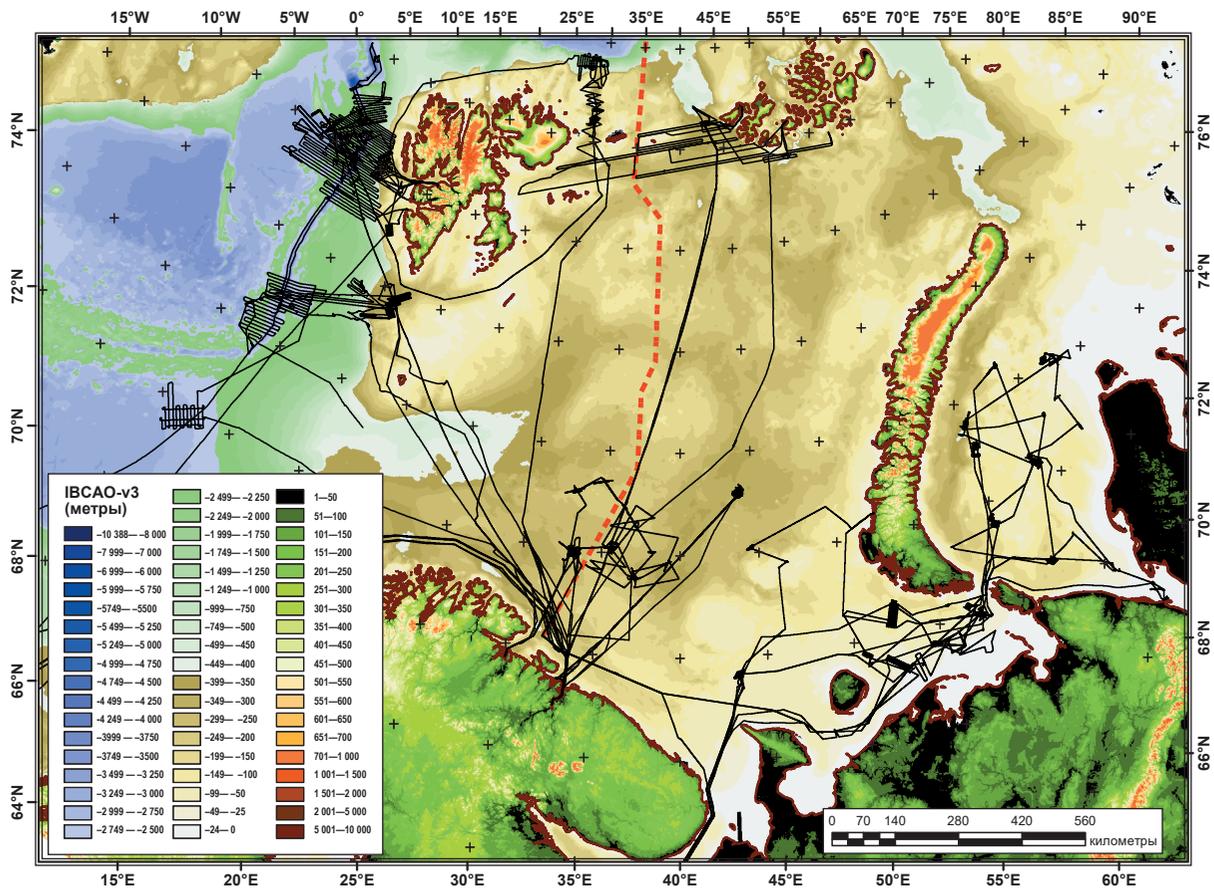


Рис. 1. Изученность западного арктического шельфа России по данным экспедиций ГИН РАН на НИС «Академик Николай Страхов» в 2006–2021 гг. Черные линии – схема маршрутных и полигонных промеров. Красный пунктир – граница России и Норвегии 2011 г. Рельеф показан по данным IBCAO версии 3 [22]

Fig. 1. Survey track lines at the Western Arctic shelf of Russia from the data of the GIN RAS expeditions on RV “Akademik Nikolai Strakhov” in 2006–2021. Black lines – the scheme of route and polygon soundings. Red dotted line – the 2011 Russia-Norway border. Topography is shown according to IBCAO version 3 data [22]

пятно» или «плоское пятно» в ВЧР и по отдельным горизонтам; вертикальные полосы акустического осветления, называемые «газовыми трубами»; грязевые вулканы; быстрые (даже по историческим меркам) изменения подводного рельефа; деградация подводной мерзлоты и разрушение газовых гидратов с подошвой, определяемой по BSR (псевдодонному рефлектору — bottom simulated reflector); оползневые процессы в зоне перехода с шельфа на континентальный склон; дайки, выраженные в рельефе; неотектонические деформации; формы гляциального рельефа; признаки глубинной дегазации в ВЧР; деятельность интенсивных течений; фациальные и инженерно-геологические обстановки.

Выявление опасных геологических объектов и процессов выполняется в основном акустическими и сейсмоакустическими аппаратными средствами (МЛЭ, ВП, НСП, ГБО). Они позволяют собирать информацию о состоянии водной толщи, морского дна в условиях шельфа с переходом в глубоководную часть акватории и ВЧР, в которых сконцентрированы индикаторы объектов исследования, выраженные в особенностях волнового поля на разных частотных диа-

пазах с разными способами первичной обработки. Массив данных о выявленных объектах позволяет создавать картографические компиляции их пространственного распределения в местах маршрутных и полигонных съемок. Способ картографического отображения и информационная насыщенность у разных авторов и в районах с разной изученностью сильно отличаются. Это указывает на необходимость унификации легенд и методов составления карт опасных объектов, а также на необходимость систематического проведения съемок для более полного покрытия акватории с последующим составлением тематических карт. Ввиду значительной скорости протекания экзогенных донных процессов необходимы повторные исследования на ключевых объектах, где были замечены быстрые изменения характеристик геологической и водной среды.

В результате анализа акустической и сейсмоакустической информации, полученной в 2006–2021 гг. во время экспедиций Геологического института (ГИН) РАН на научно-исследовательском судне (НИС) «Академик Николай Страхов» на арктическом шельфе России (рис. 1), было проведено

Научные исследования в Арктике

пробное составление карт опасных явлений на неравномерной сетке наблюдений в Баренцевом море с обязательным указанием экспедиционных маршрутов, на которых выявлялись объекты. Опыт такого картирования представлен в настоящей работе.

Аппаратура и методика съемки

На НИС «Академик Николай Страхов» в 2005 г. была установлена и введена в эксплуатацию гидроакустическая система картирования морского дна фирмы RESON (Дания). Ее состав:

- Программно-аппаратный комплекс SeaBat, включающий многолучевые эхолоты SeaBat 8111 (мелководный) и SeaBat 7150 (глубоководный). SeaBat 8111 работает на частоте 100 кГц с углом обзора 150° и максимальным значением полосы озвучивания 1100 м, формируемой из 101 луча с объемными углами 1,5°×1,5°. Система регистрации сигналов позволяет также формировать выборку ГБО с интенсивностью рассеянного сигнала от дна и водной толщи.
- Система инерциального навигационного позиционирования Arplanix POS-MV.
- Датчик скорости звука у антенн эхолотов SVP-70.
- Высокочастотный профилограф EdgeTech 3300 (США) с разрешением от 1 до 0,1 м и глубиной проникновения до 150 м по слабоконсолидированным осадкам. Диапазон частотно-модулированных сигналов 2—12 кГц.

Особенность съемки при решении не производственных, а исследовательских задач с помощью таких гидроакустических систем в отличие от сухопутных работ — получение топографической основы района работ непосредственно во время экспедиции, что в ряде случаев приводит к корректировке планов, так как предварительно топоснова масштабов до 1:5 000 отсутствует и заранее неизвестно, какие объекты могут быть обнаружены. Съемка осуществляется по системе маршрутных и полигонных галсов. Полигонные работы проводятся на ключевых объектах, выбранных на стадии планирования рейса для решения поставленных задач. Поскольку многолучевое МЛЭ осуществляет формирование картографического покрытия в полосе от 2 до 4 глубин, система галсов закладывается таким образом, чтобы межгалсовое расстояние обеспечивало сплошное покрытие площади полосами озвучивания. Оперативный анализ картографической информации по мере ее получения может определить, что для решения задачи понадобится наращивание полигона за рамки плана. Коррекция работ возможна при наличии времени и ресурсов на дополнительные стационарные работы, при которых в частности осуществляются замеры вертикальных профилей скорости звука для введения соответствующих поправок в обработку данных МЛЭ.

Полоса озвучивания дна МЛЭ в сочетании с одновременной работой ВП формирует акустическое отображение дна и верхней части разреза осадков в двух взаимно перпендикулярных плоскостях вдоль

движения судна, называемое 2.5D отображением, поскольку не является полным трехмерным массивом информации. Сплошное покрытие дна в мелководных условиях требует плотной системы галсов, выполнить которую для всех объектов не представляется возможным. Поэтому для некоторых полигонов может использоваться прореженная система галсов, когда формируется представительная карта с пустотами, которые могут быть заполнены при обнаружении объектов, интересных с точки зрения поставленных задач. Также при обнаружении интересных объектов на маршрутных галсах может быть принято оперативное решение о закладке дополнительных галсов с формированием внепланового полигона. Транзитные галсы закладываются так, чтобы обеспечить выход на полигонные участки с привязкой данных к опорным скважинам и глубинным многоканальным разрезам. Кроме того, транзитные галсы осуществляются по возможности вкрест простирания основных морфоструктур дна, выделяемых по априорным мелкомасштабным или литературным данным. Вдоль транзитов производится тот же комплекс измерений, что и при полигонных работах, но на больших скоростях движения судна.

Примеры опасных объектов и процессов

Опасный процесс отличается от опасного объекта тем, что его параметры могут меняться во времени. Это означает, что однажды зафиксированная на гидроакустической или сейсмоакустической записи специфическая аномалия волнового поля при повторном измерении может либо иметь другие характеристики, либо вовсе не выявляться. Поскольку повторные измерения, необходимые для мониторинга опасных объектов на регулярной основе, редки, возникает необходимость четкой временной привязки выявленных объектов на карте. Это необходимо для объективного информирования пользователей карт, которые, имея на них определенную информацию, в реальности могут столкнуться не с тем, что показано на карте. Для аномалий с непостоянными характеристиками во времени более уместен термин не «процесс», а «событие».

Под термином «событие» понимается выделение в зарегистрированном волновом поле на разрезе ВП, на сонограмме ГБО или МЛЭ аномалий, интерпретируемых как опасные объекты с переменной во времени характеристикой и расположенных на дне, в разрезе осадков или в водной толще. Событию присваивают координатную пару для картографической визуализации и (или) дополнительные параметры типа высоты над дном, ширины, глубины и пр. Если явление явно имеет переменный характер — зоны флюидной разгрузки в водную толщу, звукорассеивающие объекты (ЗРО) в водной толще, мигрирующие в пространстве, покмарки с газовыми факелами, — каждое событие, показанное на карте, должно содержать возможность получения информации о времени его наблюдения. Показ временных отметок на карте может перенасытить изображе-

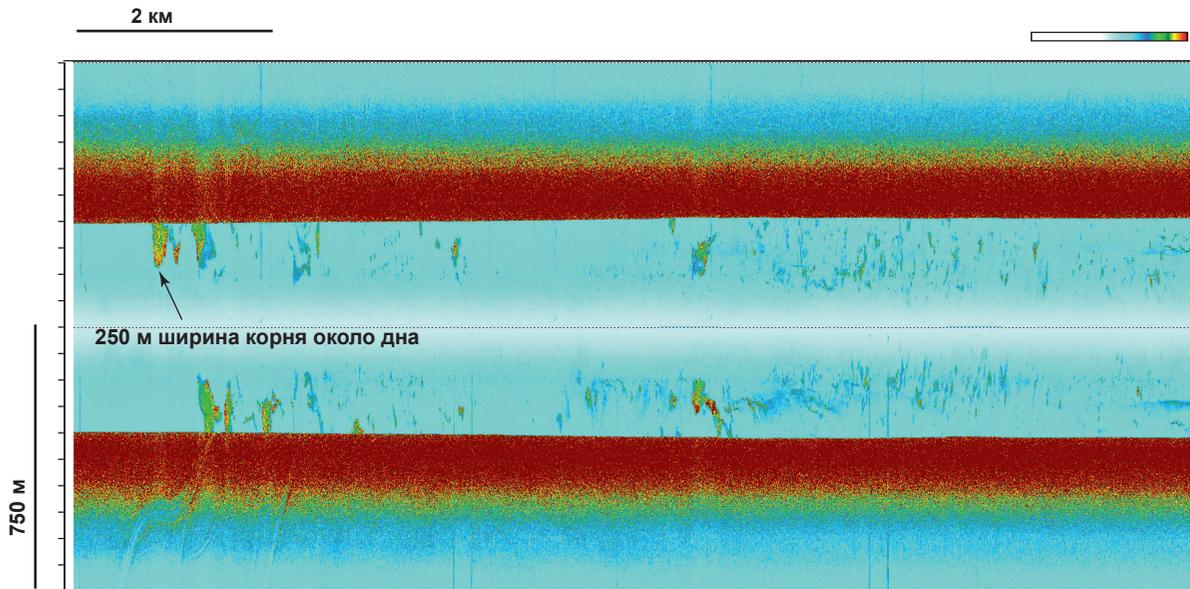


Рис. 2. Образец записи ГБО в данных МЛЭ в северной части Баренцева моря по данным 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», содержащий бескорневые и корневые ЗРО с шириной до 250 м (мега-факелы с размером корня около дна более 100 м) по данным [16] с изменениями

Fig. 2. Pattern of side-scan sonar (SSS) record from the multibeam echo sounder (MES) data at Northern part of Barents Sea from 25-th cruise of RV "Akademik Nikolai Strakhov", containing non-rooted and rooted sound scattering objects (SSO) with width up to 250 m (mega flares with a root size near the bottom more than 100 m) according to [16] modified

ние, поэтому карта должна сопровождаться ГИС-проектом, содержащим слой с временными отметками, по которым может быть получено время детекции события. В основном выделяемые аномалии в структурах дна и осадках имеют постоянный характер в пространстве и времени, показывая фиксированные объекты. Наиболее распространенными опасными событиями, наблюдаемыми на записях аппаратного комплекса, являются:

- приповерхностные скопления свободного газа, способные мигрировать вверх по разрезу с большой скоростью [1, 2, 4, 17, 19, 20, 23];
- зоны пузырьковой разгрузки флюидов из ВЧР в водную толщу, формирующие в волновом поле ЗРО с корнями на дне [1, 4, 6—8, 16];
- бескорневые ЗРО, указывающие на возможное соседство с корневыми ЗРО, возникающими при дегазации из ВЧР [16, 19].

Среди опасных объектов и различных свойств дна, опыт картирования которых приведен в данной статье, отметим:

- объекты, возвышающиеся над дном с большим перепадом высот и являющиеся, как правило, эрозийными останцами магматических внедрений [10];
- покмарки или дегазационные воронки [4, 13, 14, 19];
- оползневые явления в районах с градиентным рельефом [9, 23, 24];
- области с аномально твердым или рыхлым грунтом.

В северной части Баренцева моря в данных ГБО без коррекции водной толщи была обнаружена серия корневых ЗРО с шириной около дна до 250 м (мега-факелы), образец записи с которыми приве-

ден на рис. 2. Высоты этих ЗРО достигают до 200 м от дна акватории. Кроме того, вблизи них видна стратификация водной толщи, по-видимому, не связанная с термоклинном. Этот пример ЗРО — один из наиболее ярких, обнаруженных нами в баренцево-морских экспедициях в их российской части. Отметим, что по мере удаления от крупных корневых ЗРО наблюдается переход к бескорневым ЗРО, которые могут иметь тот же источник, но быть оторванными от него действием течений. Их природа также может быть связана не с дегазацией из ВЧР, а со скоплением плавательных пузырей или взвеси, выносимой речным стоком.

При анализе карт распределения концентрации углеводородных газов [25] можно отметить, что особую «кучность» ЗРО проявляют над аномалиями концентраций углеводородных газов в донных осадках. Это поддерживает интерпретацию ЗРО как объекта преимущественно с дегазационной природой, а не как объекта гидрофизических аномалий, связанных с циркуляцией водных масс и nektonом.

На записях ВП, несмотря на более чем 10-кратную разницу в частотах сигнала (рис. 3), также существует возможность выявить наличие ЗРО, но область получения данных вместо широкой полосы озвучивания суживается до центральной части вдоль курса судна с шириной, равной эффективной диаграмме направленности профилографа. Кроме того, интенсивность сигнала от ЗРО намного ниже донных отражений.

На рис. 3 представлен образец записи ВП над областью разгрузки газов из-под нарушенного придон-

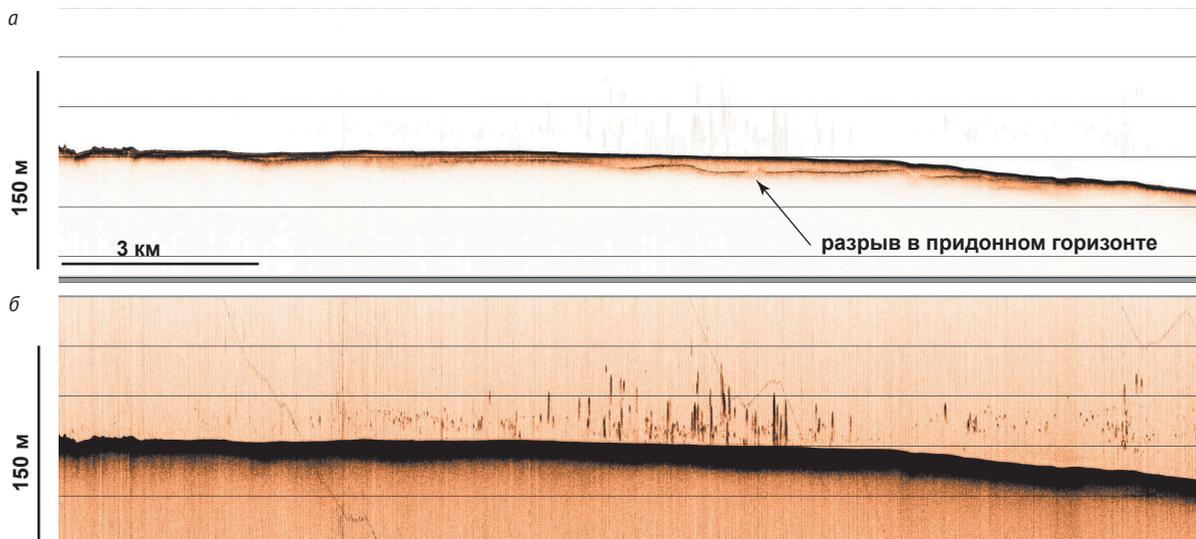


Рис. 3. Образец записи ВП с множественными корневыми и бескорневыми ЗРО в норвежской северной части Баренцева моря по данным 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов». Запись показана с разным усилением: а – нормальное с визуализацией придонного рефлектора, б – увеличенное для визуализации аномалий в водной толще. Стрелкой показан разрыв в придонном рефлекторе

Fig. 3. Pattern of high frequency profiling (HFP) record with multiple rooted and non-rooted sound scattering objects (SSO) at Norwegian Northern part of the Barents Sea according to the 25th cruise of RV "Akademik Nikolai Strakhov". The record is shown with different gain: а – normal with visualization of the bottom reflector, б – magnified to visualize anomalies in the water column. The arrow points to the gap in the near-bottom reflector

ного рефлектора, которая может быть сформирована либо областью проявления мерзлоты, либо подошвой газовых гидратов. На средней частоте модулированного сигнала ВП 3,5 кГц рассеяние слабее, чем при распространении сигнала МЛЭ 100 кГц. Для выявления ЗРО приходится завышать усиление без использования автоматической регулировки, поскольку в окне оценки уровня над дном возникает осветленная зона, искажающая восприятие. Нарушение рефлектора может быть связано с протаиванием в мерзлоте или механическим нарушением стабильности газогидратов. Эти факторы служат ловушкой для свободных газов, и изменение целостности их свойств приводит к дегазации. Даже в случае обнаружения ЗРО только вдоль траектории судна на данных ВП, а не в полосе озвучивания, возможно построение карт обнаружения событий ЗРО как некоторой псевдомозаики

в дополнение к классической сонарной мозаике интенсивности рассеивания от дна, получаемой после учета водной толщи.

Неотектонические смещения приповерхностных флюидоупоров могут иметь глубинное заложение и служить каналом поступления глубинных флюидов из горизонтов с доказанной нефтегазоносностью вверх по разрезу. При этом формируются приповерхностные скопления, из которых при разрушении флюидоупора происходят выбросы в водную толщу. Эти скопления обнаруживаются в виде аномалий сейсмоакустической записи типа «яркое пятно» или «плоское пятно», которые часто указывают [17; 20] на наличие разломного нарушения (рис. 4). Отметим, что в данном примере пятна имеют двухъярусное строение и расположены над депрессией, которая обрамлена пликативными

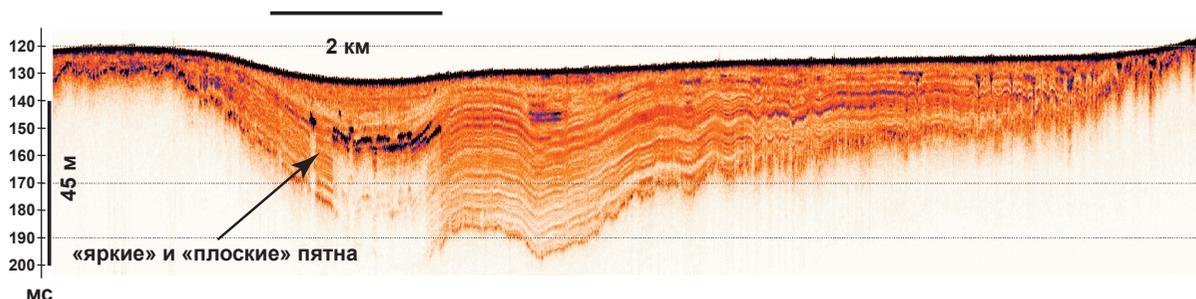


Рис. 4. Образец данных ВП с «яркими» и «плоскими» пятнами на сейсмоакустической записи, сформированными газовыми скоплениями в Печорском море по данным 38-го рейса НИС «Академик Николай Страхов». Стрелкой показано скопление аномалий

Fig. 4. Pattern of high frequency profiling (HFP) data with "bright" and "flat" spot anomalies on the seismoacoustic record, originated from gas accumulations in the Pechora Sea according to the 38th cruise of RV "Akademik Nikolai Strakhov". Arrow points to the accumulation of anomalies

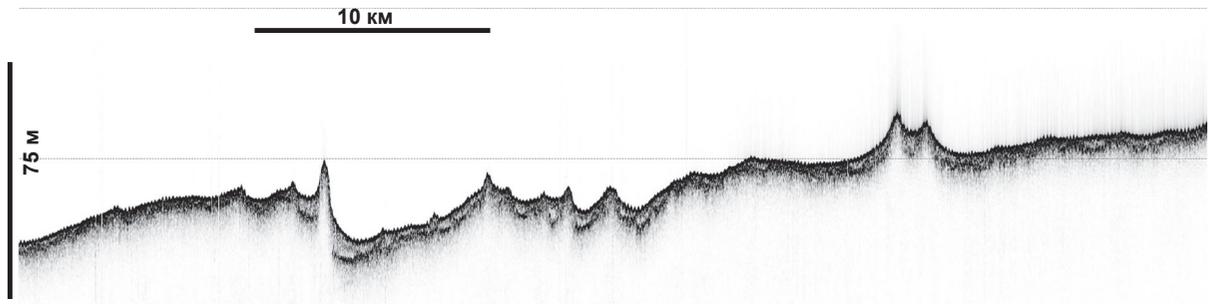


Рис. 5. Образец записи ВП с обнажением даек в северной части Баренцева моря по данным 25-го рейса НИС «Академик Николай Стрехов»

Fig. 5. Pattern of high frequency profiling (HFP) record with dyke exposure in the Northern part of the Barents Sea according the 25th cruise data of RV "Akademik Nikolai Strakhov"

деформациями слабоконсолидированного осадочного чехла, в неровностях которых также может скапливаться газ, возможно, из-за латерального перетока. Кроме того, не исключен биогенный фактор генерации газа, который здесь не рассматривается. В нижней части разреза под аномалиями, как правило, наблюдаются вертикальные полосы акустического осветления, которые возникают как из-за снижения энергии проходящей волны под высокоамплитудным рефлектором, так и из-за локальной потери отражательной способности области, занятой фокусированным флюидопотоком. Это дополнительно указывает на наличие каналов перетока флюидов вверх по разрезу, которые могут быть связаны с глубинной разломной системой. Скорости вертикальной миграции флюидов могут

достигать первых метров в год [1], что делает картирование данного вида аномалий необходимым.

Обнажение даек магматических пород на дне в районе, где имеют место вертикальное движение коры и размыв вмещающих их осадочных комплексов, показано на рис. 5. Кроме того, известны случаи обнажения силлов в северной части трога Франц-Виктория [26].

В данных батиметрической съемки МЛЭ в южной (рис. 6) и центральной частях Баренцева моря обнаруживаются области газовых воронок — покмарок, и борозды ледникового выпахивания, практически повсеместно встречающиеся на глубинах мельче 205 м. При составлении карт среднего масштаба (1:1 000 000 и мельче) отдельные покмарки и борозды становятся неразличимыми, и возможность

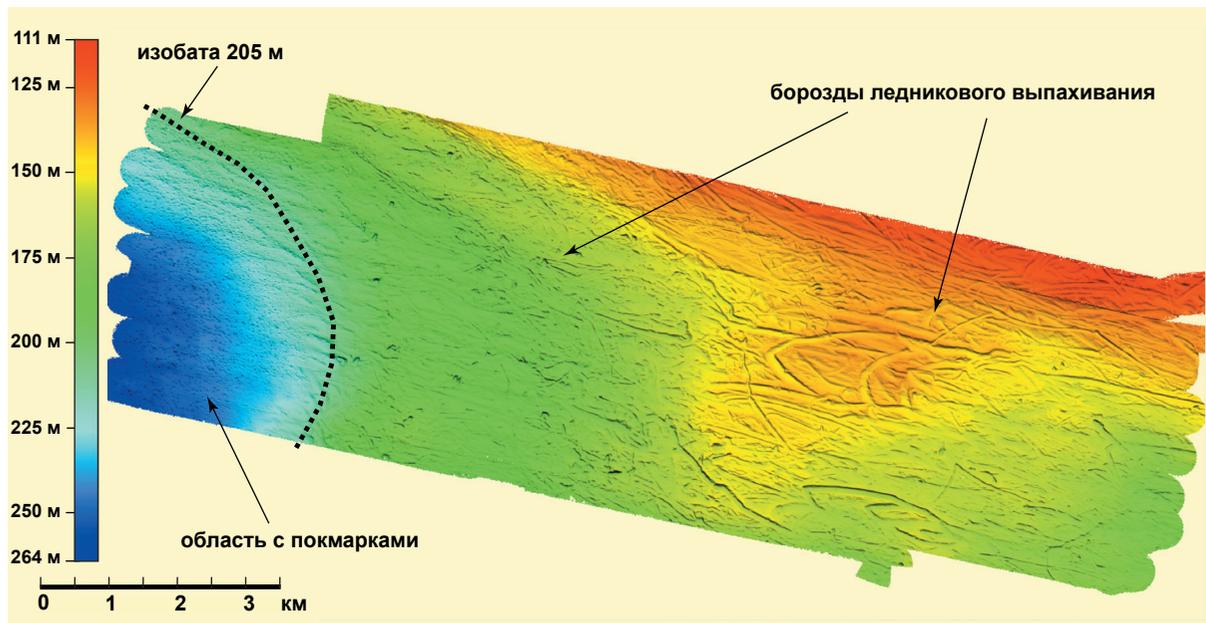


Рис. 6. Покмарки и борозды ледникового выпахивания по данным МЛЭ в южной части Баренцева моря по данным 38-го рейса НИС «Академик Николай Стрехов». Пунктиром показана изобата 205 м, глубже которой прекращается прослеживание борозд и начинается область с покмарками

Fig. 6. Glacial pockmarks and furrows according to multibeam echo sounder (MES) data in the southern part of the Barents Sea according to cruise 38 of the R/V "Akademik Nikolai Strakhov". The dotted line shows the 205 m isobath, deeper than which the tracking of furrows stops and the area with pockmarks begins

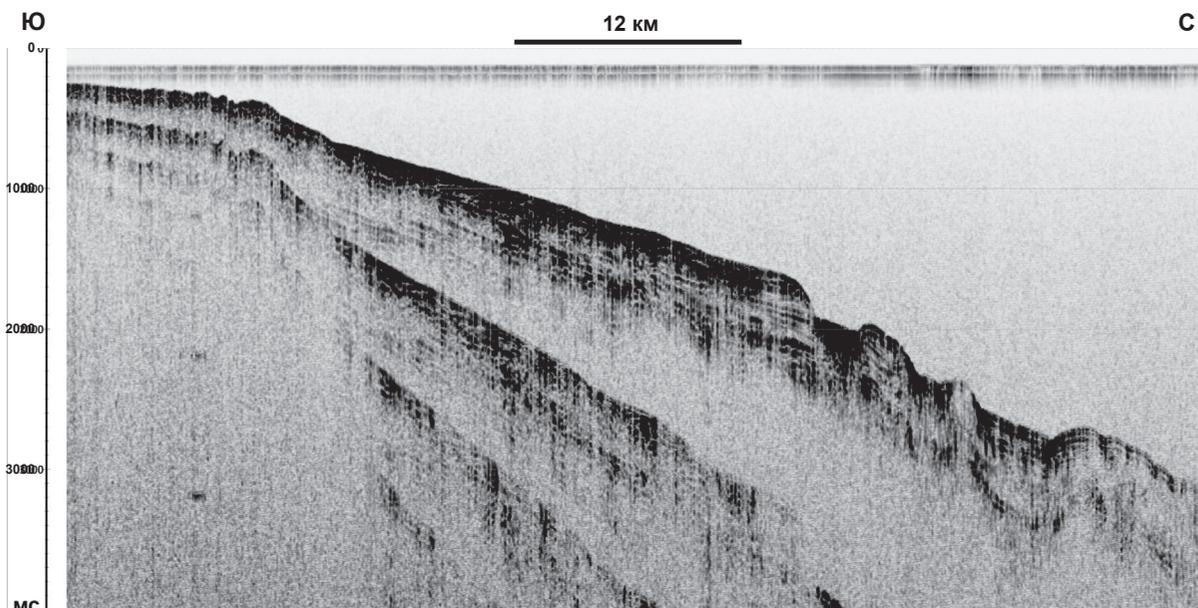


Рис. 7. Образец записи НСП на северном континентальном склоне Баренцева моря с оползневыми телами по данным 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»

Fig. 7. Pattern of seismic single channel (SSC) data on the Northern continental slope of the Barents Sea with landslide bodies according to the data of the 25th cruise of RV "Akademik Nikolai Strakhov"

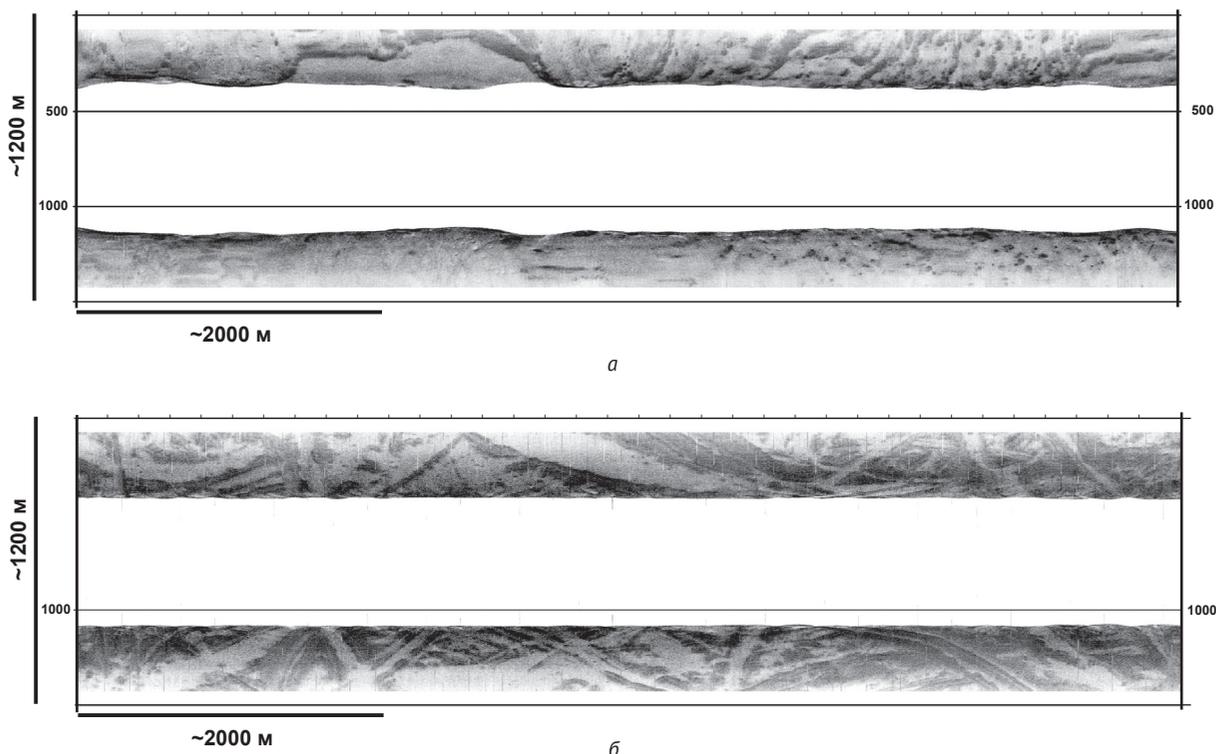


Рис. 8. Образец записи ГБО в данных МЛЭ без коррекции водной толщи в центральной части Баренцева моря по данным 28-го рейса НИС «Академик Николай Страхов», содержащий: а – области с преимущественно рыхлой поверхностью дна с низкой рассеивающей способностью, б – области с преимущественно твердой поверхностью дна с высокой рассеивающей способностью

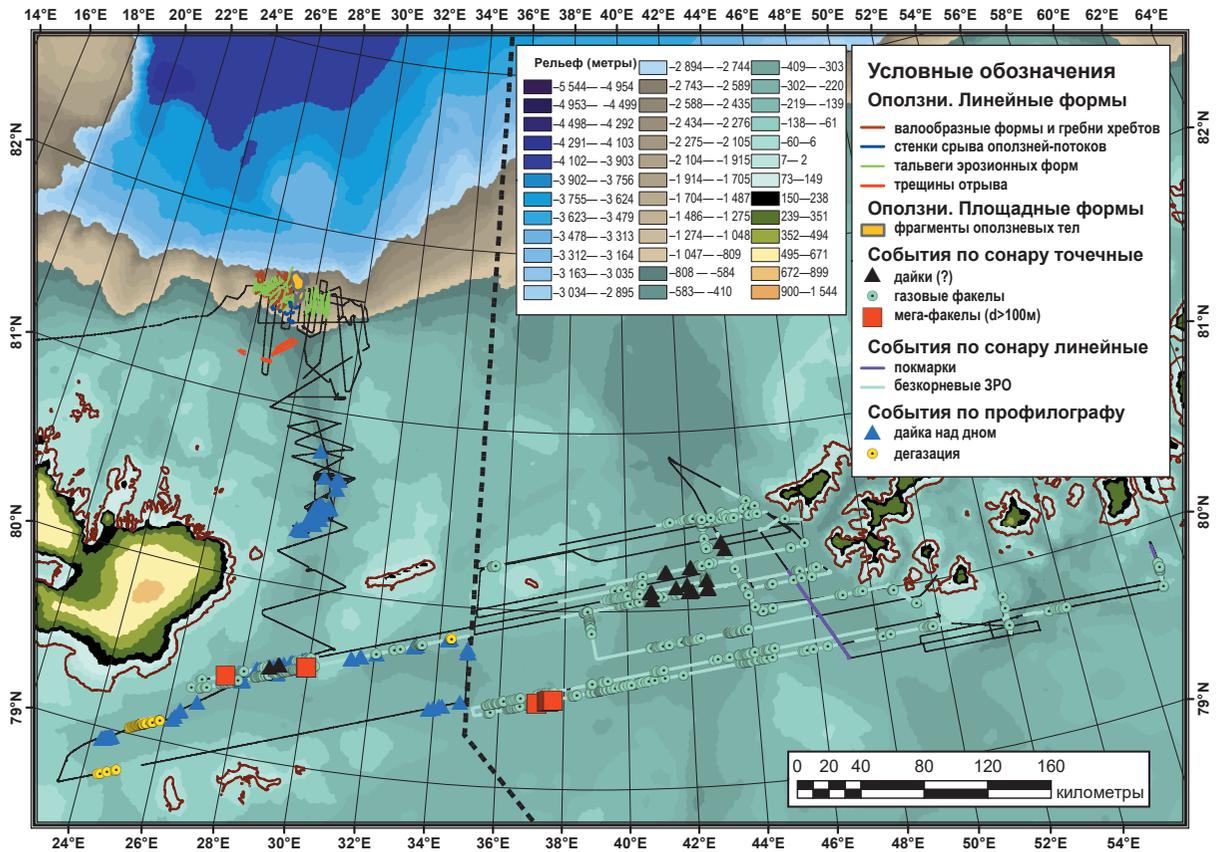


Рис. 9. Сводная карта опасных геологических объектов и событий для северной части Баренцева моря по данным, собранным в экспедициях НИС «Академик Николай Страхов» 2006–2020 гг.
 Fig. 9. Consolidated map of dangerous geological objects and events for the Northern part of the Barents Sea according to data, collected in expeditions of RV "Akademik Nikolai Strakhov" from 2006 to 2020

визуализации сводится к обозначению типов областей с проявлением этих структур.

Разрезы НСП на северном континентальном склоне Баренцева моря содержат многочисленные оползневые тела слабоконсолидированных осадков с четким выделением стенок срыва, перемещенные в сторону котловины (рис. 7). Комплекс НСП в сочетании с МЛЭ и ВП позволяет составить объемное представление о конфигурации подобных структур. Картирование подводных оползней необходимо для прогноза места катастрофических последствий возбуждаемых при их быстрых подвигах волн цунами.

При анализе данных ГБО без коррекции водной толщи кроме аномалий ЗРО (см. рис. 2) фиксируются области с преимущественно слабым или сильным рассеиванием акустического сигнала от дна (рис. 8). Процедуры коррекции позволяют строить сплошные картографические компиляции дна с отображением деталей, сопоставимых с разрешающей способностью аппаратуры вплоть до первых метров. При составлении карт среднего масштаба (1:1 000 000 и мельче) детали в данных ГБО становятся неразличимыми. При этом сохраняется возможность картирования областей не с отображением конкретных

мозаик дна, а с указанием преимущественности того или иного уровня рассеянного сигнала.

Примеры составления тематических карт

Наиболее часто встречающиеся опасные геологические объекты и события, выделение и пространственная привязка которых были проведены по данным профилографа и сонарной выборки МЛЭ, вынесены на карту как точечные и линейные объекты с легендой, дифференцированной по типам приборов, которыми выявлялись эти объекты и события. На рис. 9 представлена карта для северной части Баренцева моря между архипелагами Шпицберген и Земля Франца-Иосифа.

Обширное проявление дегазации выявлено в северном борту субширотного трога Эрик Эриксен. Оно концентрируется около юрско-меловых комплексов пород в устьевой части трога Орли, в северной части которого, по данным [27], значения теплового потока в 10 раз превышают фоновый, что указывает на рифтогенный характер геодинамического состояния литосферы. Общий структурный фон осадочных комплексов представляет собой моноклираль с падением к центру баренцевоморской депрессии и делает вероятным в данной области разгрузку флюидов,

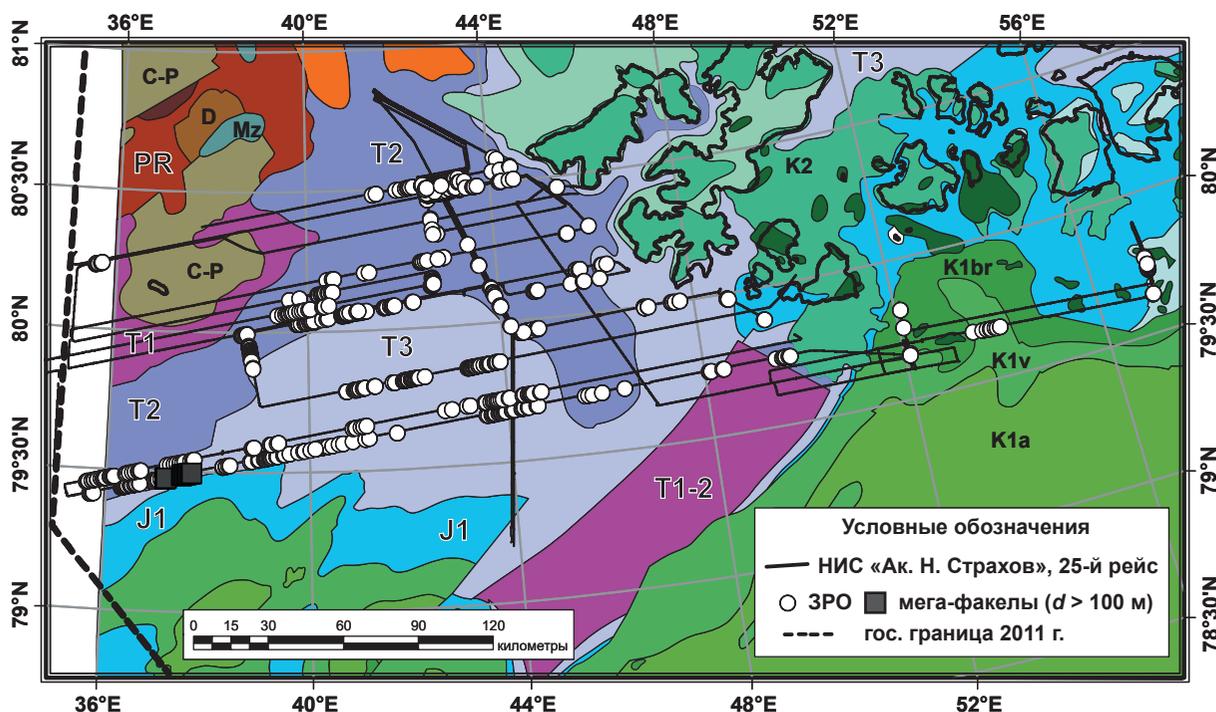


Рис. 10. Карта ЗРО в северной части Баренцева моря на юго-западном обрамлении архипелага Земля Франца Иосифа по данным работ НИС «Академик Николай Страхов» и дочетвертичная геология района работ (с упрощением карт масштаба 1:1 000 000). По данным [16] с изменениями

Fig. 10. Map of sound scattering objects (SSO) in the Northern part of the Barents Sea in the southwestern frame of the Franz Joseph Land archipelago according to the data of RV "Akademik Nikolai Strakhov" and the pre-Quaternary geology of the study area (with simplified maps at a scale of 1:1 000 000). According to [16] with modifications

мигрирующих вверх по наклонным и проницаемым пластам. Поскольку отложения верхней части юрской системы Баренцева моря преимущественно глинистые и являются флюидоупором [28], то, вероятнее всего, разгрузка может идти из нижних отделов юрской системы или из более ранних триасовых осадочных комплексов. В пользу второго варианта говорит то, что интерпретация дочетвертичных образований российского сектора подтверждается интерпретацией регионального опорного геофизического профиля 4-AP [29]. Наиболее интенсивные проявления дегазации в северной части Баренцева моря идут в областях, где в дочетвертичных отложениях выходит контакт триаса и юры (рис. 10).

Распределение ЗРО отличается наличием плотных в пространстве концентраций этих явлений (рис. 9 и 10). Несмотря на наличие отдельных ЗРО (они есть практически везде кроме северо-западной части Вильчековской ступени около острова Виктория), эти области с множественными ЗРО закономерно группируются в пространстве и повторяются от профиля к профилю. Это подтверждение систематического проявления событий данного типа, не связанного с временным фактором (между отработкой профилей проходит время, съемка может проводиться в разное время года и суток), а значит, речь идет о постоянно действующем явлении с пространственной корреляцией. Особо отметим, что

крупные мега-факалы наблюдаются вблизи контакта триасовых отложений с юрскими глинами.

Объекты типа «дайки» встречаются на сонарных изображениях дна, как и на разрезах высокочастотного профилографа. Компильция оцифровок этих объектов приведена на рис. 9. Легко отметить, что дайки в первую очередь концентрируются около устьевых частей трогов Орла и Франц-Виктория, где вследствие интенсивных эрозийных процессов магматические интрузии выходят на поверхность. Большое количество объектов этого типа обнаружено в бортовых зонах трогов Эрик-Эриксен. Поскольку дайковые комплексы известны к западу-юго-западу от острова Земля Александры (архипелаг Земля Франца-Иосифа), по данным [30] формируют в рельефе хорошо видный порог в устье трогов, отмеченная концентрация вполне объяснима.

Сопоставление положения даек с картой амплитуд вертикальных движений по данным [12] показывает, что они группируются в позициях, где амплитуды движений имеют максимальный градиент, а в устье трогов Франц-Виктория — на линии зоны максимальных опусканий, что для развивающегося трогов вполне объяснимо. Интенсивный подъем периферии Баренцева моря и опускание внутренних частей имеет ясную гляцио-изостатическую природу, но формирование цепочки трогов, субортогональных бортовке шельфа, по-видимому, имеет иную природу.

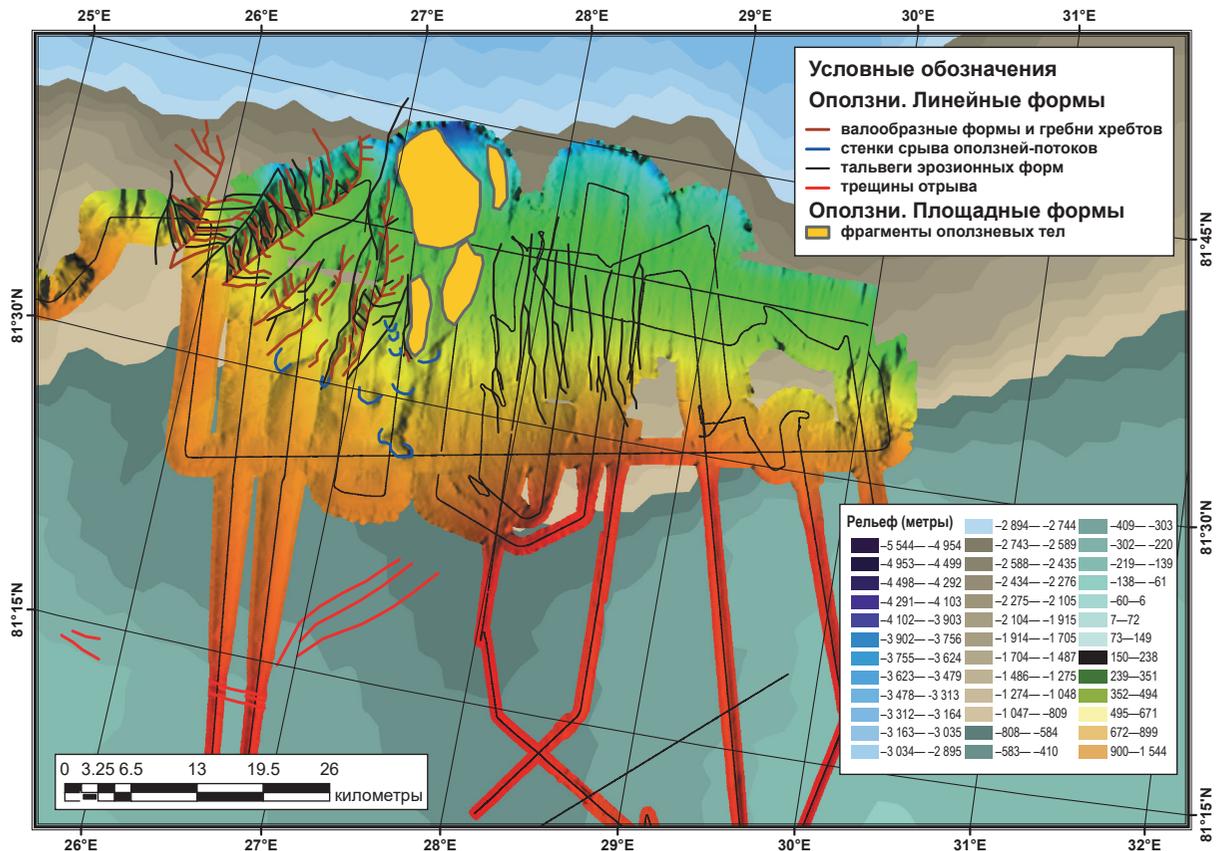


Рис. 11. Карта морфологических элементов оползневых структур на континентальном склоне северного обрамления Баренцева моря по данным многолучевой батиметрии

Fig. 11. Map of morphologic elements of landslide structures on the continental slope of the Northern frame of the Barents Sea according to the multibeam bathymetry data

Деструкция осадочного чехла обнажает мезозойские магматические тела. Кайнозойские магматические тела (за исключением четвертичного вулканизма на Шпицбергене) в районе не обнаружены.

Компиляции рельефа МЛЭ (рис. 11) на континентальном склоне в районах разгрузки терригенного гляциального материала в устьях трогов северного обрамления Баренцева моря показывают наличие оползневых структур и хорошо распознаваемых свойственных им морфологических элементов. Верхняя часть континентального склона наиболее неустойчива из-за скопления неконсолидированных толщ с углами напластования, превышающими предел, после которого массы осадков начинают течь, — 0,5—1° [31]. Сейсмичность зоны перехода континент — океан, для пассивной окраины, как правило, имеющая происхождение в изостатическом выравнивании нагрузки масс осадков на мантийный субстрат, является триггером, который может инициировать сход оползневых тел, способный вызвать региональную волну цунами. Картирование выраженных в рельефе оползневых тел и намечающихся трещин отрыва — необходимое звено при создании карт потенциально опасных явлений на акваториях.

Детекция районов с ЗРО, покмарками и грунтов с высокой и низкой рассеивающей способностью по данным ГБО выборки МЛЭ позволила собрать информацию об их пространственном распределении и построить карту, представленную на рис. 12. Данный вид отображения упомянутых объектов и событий в масштабе карты показывает их встречаемость вдоль полосы озвучивания. Это также весьма информативный вариант построения карты, на основании которого можно сделать вполне достоверные заключения о распределении целевых объектов. Принимая во внимание изменчивость свойств водной толщи, в таких картах также необходимо указывать временной интервал съемки или обеспечивать эту возможность в сопутствующем картографическом ГИС-проекте. Объективную картину поведения ЗРО может дать только мониторинг, выполняемый на постоянной основе с отслеживанием суточных, сезонных и прочих вариаций.

Однозначные выводы по приведенной на рис. 12 карте вряд ли возможны, но концентрация этих проявлений около Северо-Кильдинского месторождения достаточно красноречива. События в водной толще могут быть также ассоциированы с nektonом и иметь пространственную привязку, обусловленную

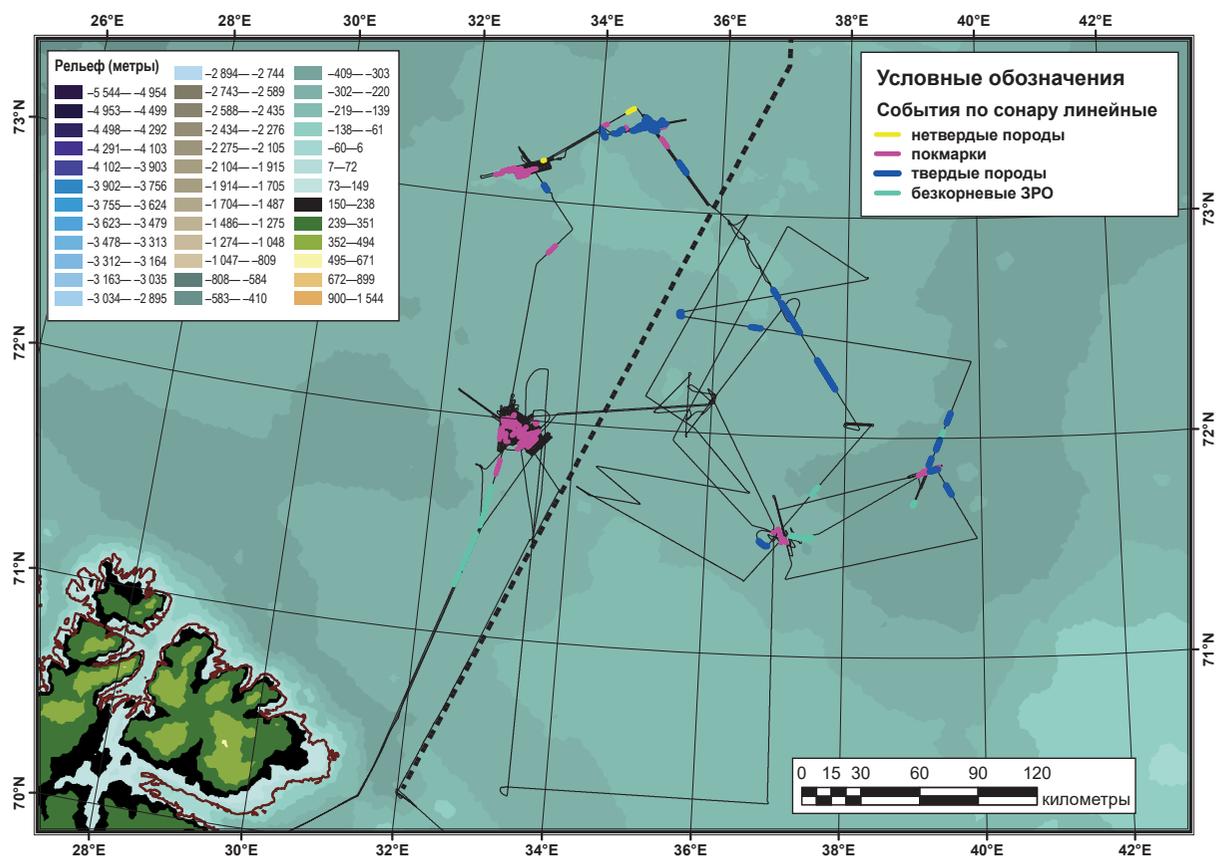


Рис. 12. Сводная карта опасных геологических объектов и событий для центральной части Баренцева моря по данным 28-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»
 Fig. 12. Consolidated map of dangerous geological objects and events for the Central part of the Barents Sea according to the data of the 28th cruise of RV "Akademik Nikolai Strakhov"

мгновенной структурой течений или водных температур. Но эти события могут быть также привязаны к постоянно действующим зонам газовой разгрузки. Характерным является также отсутствие ЗРО над сводом Федынского и их присутствие во впадине на границе многолетней и сезонной криолитозоны [32].

В [20] приведен пример картирования аномалий типа «яркое пятно» в Печорском море (рис. 13), из которого видно наличие компактных групп, расположенных в разных структурных блоках на траектории движения судна. Например, одна из групп находится в Вашуткино-Талотинской надвиговой зоне, где к уровню подошвы мезозойских комплексов по разломам могут быть подняты ордовикские соли. По системе взбросов в этой зоне существует благоприятная обстановка для миграции флюидов, которые формируют скопления в верхней части разреза осадков на глубинах в первые десятки метров под дном моря и проявлены в разрезах в виде «ярких пятен». Пространственное распределение в приповерхностных осадках Печорского моря аномалий типа «яркое пятно» связано также с системами других разломных зон, нарушающих палеозойские и мезозойские осадочные комплексы. Скопления газа в ВЧР могут прорываться в водную толщу, что создает ЗРО и опасные

последствия для инженерной и навигационной деятельности на акватории шельфа. Нарушение стабильности приповерхностных скоплений может происходить по многим причинам: механические воздействия, деградация мерзлоты, неотектонические движения и подъем под действием архимедовой силы при ее превышении силы сопротивления слоев, удерживающих газ. Необходимость системного картирования данного вида аномалий очевидна.

Заключение

Представленные карты опасных объектов и событий не исчерпывают всех возможностей визуализации их свойств на топографической основе, которая кроме рельефа может быть представлена также и геологией, тектоникой, потенциальными полями и другими покрытиями. В основном были использованы внесштабные знаки, показывающие только положение целевых объектов без дифференциации по дополнительным свойствам. Исключением является отдельный знак для наиболее крупных корневых ЗРО. Поскольку для каждого объекта или события в цифровом покрытии может содержаться расширенный набор атрибутивных характеристик, включая время их детекции, они могут быть исполь-

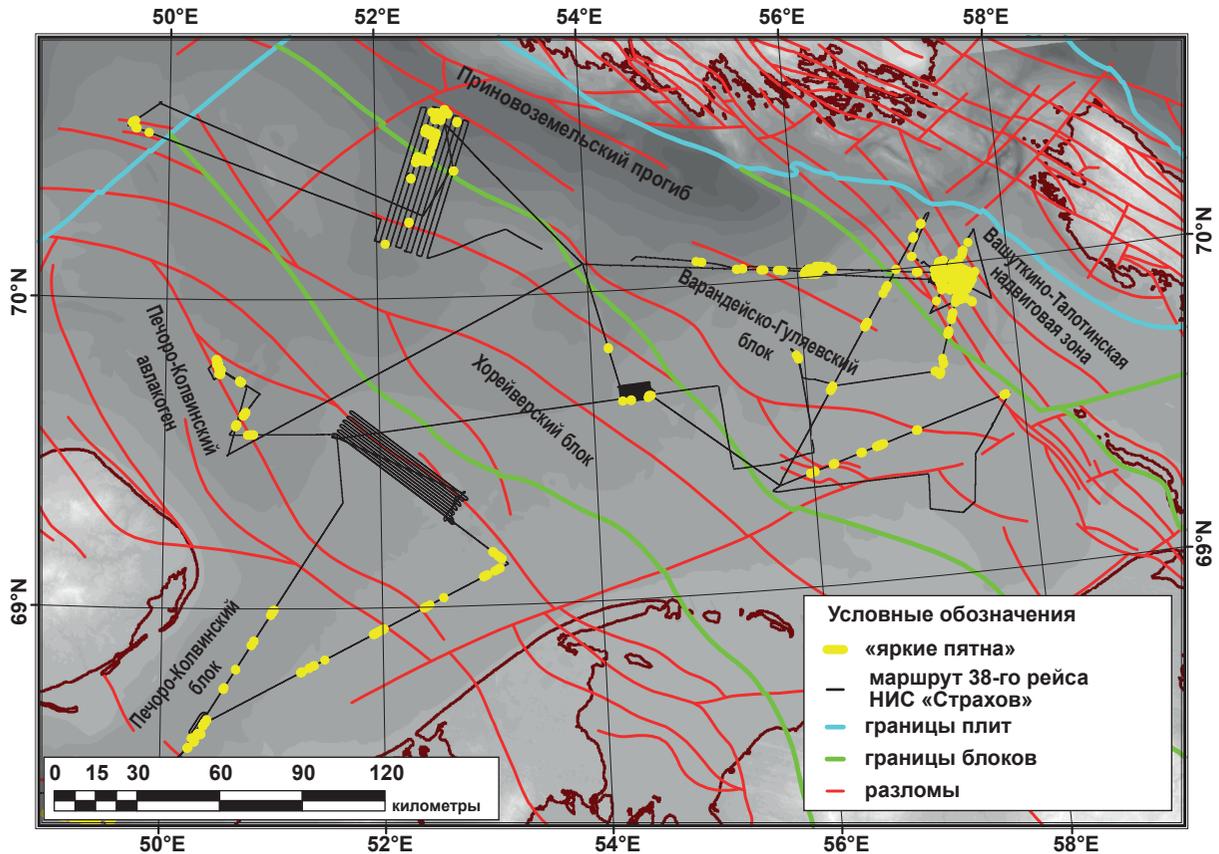


Рис. 13. Пространственное распределение сейсмоакустических аномалий типа «яркое пятно» в Печорском море по данным 38-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» по данным [20]. Элементы тектоники района показаны по данным [33]
Fig. 13. Spatial distribution of seismoacoustic anomalies of the “bright” spot type in the Pechora Sea according to the data of the 38th cruise of RV «Akademik Nikolai Strakhov» according to [20]. Tectonic elements are shown according to the data [33]

зованы для дополнительной классификации по размеру знака, типу или цвету, например, как это делается для магнитуды или глубины землетрясений. Кроме того, на наших картах представлены далеко не все объекты, картирование которых может представлять интерес для экономической деятельности на шельфах. Составление карт разными группами исследователей приведет к необходимости согласованной работы по унификации используемых легенд в картах подобного рода и, возможно, к стандартизации дизайна баз данных для пополнения новой экспедиционной информацией. Систематическое изучение верхней части геологической среды шельфовых акваторий, сконцентрированное на целевых районах и транспортных путях, будет развиваться, и полнота собранной информации будет увеличиваться. Это приведет к компиляции более полных карт опасных геологических объектов. Отдельной темой является эволюция опасностей во времени, картографическое отображение которой требует введения в практику новых идей для составления карт, показывающих эту временную изменчивость.

Данная работа выполнена при поддержке тем госзаданий Геологического института РАН

FMUN-2019-0076 и Института океанологии РАН FMWE-2021-0005. Первичная обработка сейсмических данных выполнена в рамках гранта РФФИ 18-05-70040.

Авторы благодарны экипажу НИС «Академик Николай Страхов» за самоотверженный труд в тяжелых условиях, сделавший возможным получение полных материалов.

Литература

1. Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al. Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf // Nature Communications. — 2017. — Vol. 8. — DOI: 10.1038/ncomms15872.
2. Богоявленский В. И., Кишаннов А. В. Опасные газонасыщенные объекты на акваториях Мирового океана: Чукотское море (Россия и США) // Арктика: экология и экономика. — 2020. — № 2 (38). — С. 45—59. — DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58.
3. Богоявленский В. И. Природные и техногенные угрозы при освоении месторождений горючих ископаемых в криолитосфере Земли // Гор. пром-сть. — 2020. — № 1. — С. 97—118. — DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118.

4. Богоявленский В. И., Казанин А. Г., Кишанков А. В., Казанин Г. А. Дегазация Земли в Арктике: комплексный анализ факторов мощной эмиссии газа в море Лаптевых // Арктика: экология и экономика. — 2021. — Т.11, № 2. — С. 178—194. — DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-178-194.
5. Paull C. K., Dallimore S. R., Jin Y. K. et al. Rapid sea-floor changes associated with the degradation of Arctic submarine permafrost // Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences. — 2022. — Vol. 119. — № 12. — P. e2119105119. — URL: <https://doi.org/10.1073/pnas.2119105119>.
6. Юсупов В. И., Салюк А. Н., Карнаух В. Н. и др. Обнаружение областей пузырьковой разгрузки метана на шельфе моря Лаптевых в Восточной Арктике // Докл. Акад. наук. — 2010. — Т. 430, № 6. — С. 820—823.
7. Сергиенко В. И., Лобковский Л. И., Семилетов И. П. и др. Деградация подводной мерзлоты и разрушение гидратов шельфа морей Восточной Арктики как возможная причина «метановой катастрофы»: некоторые результаты комплексных исследований 2011 года // Докл. Акад. наук. — 2012. — Т. 446, № 3. — С. 330—335.
8. Ананьев Р. А., Дмитриевский Н. Н., Росляков А. Г. и др. Использование комплексных акустических методов для мониторинга процессов эмиссии газов на шельфе арктических морей // Океанология. — 2022. — Т. 62, № 1. — С. 151—157. — DOI: 10.31857/S0030157422010014.
9. Зайончек А. В., Мазарович А. О., Лаврушин В. Ю. и др. Геолого-геофизические работы 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» на севере Баренцева моря и на континентальном склоне Северного Ледовитого океана // Докл. РАН. — 2009. — Т. 427, № 1. — С. 67—72.
10. Зайончек А. В., Бренке Х., Соколов С. Ю. и др. Строение зоны перехода от шельфа Баренцева моря к хребту Книповича севернее о. Медвежий (Предварительные результаты работ 26-го рейса НИС «Академик Николай Страхов») // Докл. РАН. — 2010. — Т. 430, № 6. — С. 824—829.
11. Мороз Е. А. Новейшая тектоника северо-западной окраины Баренцевоморского шельфа // Мониторинг. Наука и технологии. — 2016. — № 4 (29). — С. 6—13.
12. Мусатов Е. Е. Структура кайнозойского чехла и неотектоника Баренцево-Карского шельфа по сейсмоакустическим данным // Рос. журн. наук о Земле. — 1998. — Т. 1, № 2. — С. 157—183.
13. Миронюк С. Г., Иванова А. А. Микро- и мезорельеф гляциального шельфа Баренцева и Карского морей в свете новых данных // Бюл. комиссии по изучению четвертич. периода. — 2018. — № 76. — С. 41—58.
14. Миронюк С. Г., Иванова А. А., Колюбакин А. А. Экстремальные глубины современного ледового выпаживания на шельфе северо-восточной части Баренцева моря // Рос. поляр. исслед. — 2018. — № 1 (31). — СПб.: АНИИ, 2018. — С. 12—14.
15. Крапивнер Р. Б. Признаки неотектонической активности Баренцевоморского шельфа // Геотектоника. — 2007. — № 2. — С. 73—89.
16. Соколов С. Ю., Мороз Е. А., Абрамова А. С. и др. Картирование звукорассеивающих объектов в северной части Баренцева моря и их геологическая интерпретация // Океанология. — 2017. — Т. 57, № 4. — С. 655—662.
17. Соколов С. Ю., Мороз Е. А., Сухих Е. А. и др. Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря // Георесурсы / Georesources. — 2019. — Т. 21, № 4. — С. 68—76. — URL: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.68-76>.
18. Мороз Е. А., Зарайская Ю. А., Сухих Е. А. и др. Рельеф и строение верхней части осадочного чехла в районе свода Федынского по акустическим данным // Вестн. МГУ. Сер. 5. География. — 2020. — № 2. — С. 82—91.
19. Еременко Е. А., Денисова А. П., Мороз Е. А. и др. Рельефообразующая роль дегазации на Баренцево-Карском шельфе // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2021. — Вып. 8. — С. 73—81. — DOI: 10.24412/2687-1092-2021-8-73-81.
20. Соколов С. Ю., Мороз Е. А., Агранов Г. Д. и др. Проявления дегазации в верхней части осадочного разреза Печорского моря и ее связь с тектоникой // Докл. Рос. акад. наук. Науки о Земле. — 2021. — Т. 499, № 2. — С. 91—96. — DOI: 10.31857/S268673972108017X.
21. Никифоров С. Л., Ананьев Р. А., Дмитриевский Н. Н. и др. Осадочные волны юго-восточного шельфа Баренцева моря (п-ов Канин — Чешская губа) // Океанология. — 2021. — Т. 61, № 4. — С. 585—591.
22. Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0 // Geophys. Res. Lett. — 2012. — Vol. 39 (12), L12609. — P. 1—6.
23. Рыбалко А. Е., Щербаков В. А., Захаров М. С. и др. Карта опасных геологических процессов (ОГП) на Дальневосточном шельфе и в экономической зоне РФ и результаты полевых работ по уточнению карты ОГП на шельфе Сахалина // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. — 2020. — Вып. 7. — С. 182—187. — DOI: 10.24411/2687-1092-2020-10727.
24. Рыбалко А. Е., Щербаков В. А., Захаров М. С. и др. Новая инженерно-геологическая карта шельфа арктических морей России // Neftegaz. RU. — 2020. — № 1. — С. 44—51.
25. Яшин Д. С. Распределение углеводородных газов в донных осадках // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. Арктические моря России. Лист 1—9. — М.: Науч. мир, 2004.
26. Соколов С. Ю., Абрамова А. С., Зарайская Ю. А. и др. Процессы эволюции литосферы в районе архипелага Земля Франца-Иосифа по данным картирования донных обнажений магматических тел // Мониторинг. Наука и технологии. — 2016. — № 4 (29). — С. 14—19.

27. Хуторской М. Д., Леонов Ю. Г., Ермаков А. В. и др. Аномальный тепловой поток и природа желобов в северной части Свальбардской плиты // Докл. РАН. — 2009. — Т. 424, № 2. — С. 227—233.
28. Баренцевская шельфовая плита / Под ред. И. С. Грамберга. — Л.: Недра, 1988. — 263 с.
29. Старцева К. Ф., Никишин А. М., Малышев Н. А. и др. Геологическая и геодинамическая реконструкция Восточно-Баренцевского мегабассейна на основе анализа регионального сейсмического профиля 4-AP // Геотектоника. — 2017. — № 4. — С. 51—67.
30. Серов Е. К., Дымов В. А. Карта четвертичных образований // Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000. Лист U-37-40. — СПб.: ФГУНПП ПМГРЭ, 2004.
31. Рединг Х. Обстановки осадконакопления. — Т. 1. — М.: Мир, 1990. — 352 с.
32. Соловьев В. А., Гинзбург Г. Д. Субмаринная криолизотона. Прогноз распространения // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. Арктические моря России. Лист 3—9. — М.: Науч. мир, 2004.
33. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Листы R-39, 40. О. Колгуев — прол. Карские Ворота: Объяснительная записка. — СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2013. — 477 с.

Информация об авторах

Соколов Сергей Юрьевич, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, Геологический институт РАН (119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1), e-mail: sysokolov@yandex.ru.

Мороз Евгений Андреевич, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт РАН (119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1), e-mail: morozzea@gmail.com.

Зарайская Юлия Андреевна, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт РАН (119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1), e-mail: geozar@yandex.ru.

Абрамова Анастасия Сергеевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, Геологический институт РАН (119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1), e-mail: abramanastas@gmail.com.

Ананьев Роман Александрович, научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: coreg@mail.ru.

Сухих Елена Александровна, научный сотрудник, Геологический институт РАН (119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., д. 7, стр. 1), e-mail: sukhikh_ea@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Соколов С. Ю., Мороз Е. А., Зарайская Ю. А. и др. Картирование опасных геологических объектов и процессов северной и центральной частей шельфа Баренцева моря по данным гидроакустического комплекса НИС «Академик Николай Страх» // Арктика: экология и экономика. — 2023. — Т. 13, № 2. — С. 164—179. — DOI: 10.25283/2223-4594-2023-2-164-179.

MAPPING OF DANGEROUS GEOLOGICAL OBJECTS AND PROCESSES AT THE NORTHERN AND CENTRAL PARTS OF THE BARENTS SEA SHELF ACCORDING TO THE HYDROACOUSTIC DATA FROM RV “AKADEMIK NIKOLAI STRAKHOV”

Sokolov, S. Yu., Moroz, E. A., Zarayskaya, Yu. A., Abramova, A. S.
Geological Institute of RAS (Moscow, Russian Federation)

Ananiev, R. A.
P. P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS (Moscow, Russian Federation)

Sukhikh, E. A.
Geological Institute of RAS (Moscow, Russian Federation)

The article was received on October 9, 2022

Abstract

Mapping of dangerous geological objects and processes by hydroacoustic methods is being intensively developed in the areas of the Arctic shelf of Russia. Considerable experience has been accumulated in identifying of these objects and in compiling of thematic maps showing their properties, spatial distribution and correlation

with geological and tectonic structures. A large amount of data and the development of economic activity make it necessary to develop a methodology for compiling these maps, design of legends and an approach to updating them. The paper presents map samples of dangerous geological objects compiled according to the data of RV "Academik Nikolai Strakhov" expeditions.

Keywords: *geological hazards, sound-scattering objects, mapping, degassing, Arctic shelf, hydroacoustic methods, "bright" spots.*

The research was supported by the state assignments of the Geological Institute of RAS FMUN-2019-0076 and the Shirshov Institute of Oceanology of RAS FMWE-2021-0005. Primary processing of seismoacoustic data was performed under the RFBR grant 18-05-70040.

The authors are grateful to the crew of the RV "Academik Nikolai Strakhov" for their selfless work in difficult conditions, which made it possible to obtain field data.

References

1. *Shakhova N., Semiletov I., Gustafsson O. et al.* Current rates and mechanisms of subsea permafrost degradation in the East Siberian Arctic Shelf. *Nature Communications*, 2017, vol. 8. DOI: 10.1038/ncomms15872.
2. *Bogoyavlensky V. I., Kishankov A. V.* Dangerous gas-saturated objects in the World Ocean: the Chukchi Sea (Russia and the USA). *Arctic: Ecology and Economy*, 2020, no. 2 (38), pp. 45—58. DOI: 10.25283/2223-4594-2020-2-45-58. (In Russian).
3. *Bogoyavlensky V. I.* Natural and technogenic threats in fossil fuels production in the Earth cryolithosphere. *Gornaya promyshlennost'*. Russian Mining Industry, 2020, no. 1, pp. 97—118. DOI: 10.30686/1609-9192-2020-1-97-118. (In Russian).
4. *Bogoyavlensky V. I., Kazanin A. G., Kishankov A. V., Kazanin G. A.* Earth degassing in the Arctic: comprehensive analysis of factors of powerful gas emission in the Laptev Sea. *Arctic: Ecology and Economy*, 2021, vol. 11, no. 2, pp. 178—194. DOI: 10.25283/2223-4594-2021-2-178-194. (In Russian).
5. *Paull C. K., Dallimore S. R., Jin Y. K. et al.* Rapid seafloor changes associated with the degradation of Arctic submarine permafrost. *Earth, Atmospheric, and Planetary Sciences*. 2022, vol. 119, no. 12, p. e2119105119. Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.2119105119>.
6. *Yusupov V. I., Salyuk A. N., Karnaukh V. N., Semiletov I. P., Shakhova N. E.* Detection of Methane Ebullition in Shelf Waters of the Laptev Sea in the Eastern Arctic Region. *Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 430, no. 2, pp. 261—264.
7. *Sergienko V. I., Lobkovskii L. I., Semiletov I. P. et al.* The Degradation of Submarine Permafrost and the Destruction of Hydrates on the Shelf of East Arctic Seas as a Potential Cause of the Methane Catastrophe: Some Results of Integrated Studies in 2011. *Doklady Earth Sciences*, 2012, vol. 446, no. 1, pp. 1132—1137.
8. *Ananiev R. A., Dmitrevsky N. N., Roslyakov A. G. et al.* Acoustic Monitoring of Gas Emission Processes in the Arctic Shelf Seas. *Oceanology*, 2022, vol. 62, no. 1, pp. 151—157. DOI: 10.31857/S0030157422010014. (In Russian).
9. *Zayonchek A. V., Mazarovich A. O., Lavrushin V. Yu. et al.* Geological-Geophysical Studies in the Northern Barents Sea and on the Continental Shelf of the Arctic Ocean During Cruise 25 of the R/V Akademik Nikolay Strakhov. *Doklady Earth Sciences*, 2009, vol. 427, no. 1, pp. 740—745.
10. *Zayonchek A. V., Brekke H., Sokolov S. Y. et al.* Structure of the Transition Zone from the Barents Sea Shelf to the Knipovich Ridge Northward from Medvezhii Island (Preliminary Results of the 26th Cruis of R/V Akademik Nikolai Strakhov). *Doklady Earth Sciences*, 2010, vol. 430, no. 2, pp. 265—270.
11. *Moroz E.A.* Neotectonics of North-Western Periphery of the Barents Sea Shelf. *Monitoring. Science and Technologies*, 2016, no. 4 (29), pp. 6—13. (In Russian).
12. *Musatov E. E.* Cenozoic sedimentary structure and neotectonics of the Barents-Kara shelf from reflection profiling data. *Russian J. of Earth Sciences*, 1998, vol. 1, no. 2, pp. 151—177.
13. *Mironyuk S. G., Ivanova A. A.* Micro- and Mesorelef of the Glacial Shelf of Barents and Karsky Seas in the Light of New Data. *Quaternary Period Research Commission Bull.*, 2018, no. 76, pp. 41—58. (In Russian).
14. *Mironyuk S. G., Ivanova A. A., Kolyubakin A. A.* Extreme depths of modern ice plowing on the shelf of the northeastern part of the Barents Sea. *Russian Polar Research*, 2018, no. 1 (31). St. Petersburg, AANII, 2018, pp. 12—14. (In Russian).
15. *Krapivner R. B.* Indications of Neotectonic Activity at the Barents Sea Shelf. *Geotectonics*, 2007, vol. 41, no. 2, pp. 149—162.
16. *Sokolov S. Yu., Moroz E. A., Abramova A. S. et al.* Mapping of Sound Scattering Objects in the Northern Part of the Barents Sea and Their Geological Interpretation. *Oceanology*, 2017, vol. 57, no. 4, pp. 593—599.
17. *Sokolov S. Yu., Moroz E. A., Sukhikh E. A. et al.* Manifestations of deep degassing into the water column and upper part of the Pechora sea sedimentary section. *Georesursy = Georesources*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 68—76. Available at: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.68-76>.
18. *Moroz E. A., Zarayskaya Yu. A., Sukhikh E. A. et al.* Relief and Structure of the Upper Part of Sedimentary Cover in the Area of the Fedynsky Rise According to Acoustic Data. *Herald of MSU. Seria 5. Geography*, 2020, no. 2, pp. 82—91. (In Russian).
19. *Eremenko E. A., Denisova A. P., Moroz E. A. et al.* Geomorphological Role of Degassing on the Barents-Kara Shelf. Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and Northwestern Russia, 2021, iss. 8,

- pp. 73—81. DOI: 10.24412/2687-1092-2021-8-73-81. (In Russian).
20. Sokolov S. Yu., Moroz E. A., Agranov G. D. et al. Manifestations of Degassing in the Upper Part of the Pechora Sea Sediment Section and Its Relation to Tectonics. *Doklady Earth Sciences*, 2021, vol. 499, no. 2, pp. 605—610. DOI: 10.1134/S1028334X21080171.
21. Nikiforov S. L., Ananiev R. A., Dmitrevsky N. N. et al. Sedimentary Waves of the Southeastern Barents Sea Shelf (Kanin Peninsula–Cheshskaya Bay). *Oceanology*, 2021, vol. 61, no. 4, pp. 511—516.
22. Jakobsson M., Mayer L., Coakley B. et al. The International Bathymetric Chart of the Arctic Ocean (IBCAO) Version 3.0. *Geophys. Res. Lett.*, 2012, vol. 39 (12), L12609, pp. 1—6.
23. Rybalko A. E., Scherbakov V. A., Zakharov M. C. et al. Map of hazardous geological processes (HGP) on the Far Eastern shelf and in the economic zone of the Russian Federation and the results of field work to refine the HGP map on the Sakhalin shelf. *Relief and Quaternary formations of the Arctic, Subarctic and Northwestern Russia*, 2020, iss. 7, pp. 182—187. DOI: 10.24411/2687-1092-2020-10727. (In Russian).
24. Rybalko A. E., Scherbakov V. A., Zakharov M. C. et al. New engineering-geological map of the shelf of the Arctic Seas of Russia. *Neftegaz.RU*, 2020, no. 1, pp. 44—51. (In Russian).
25. Yashin D. S. Distribution of hydrocarbon gases in bottom sediments. *Atlas: Geology and minerals of the Russian shelves. Arctic seas of Russia. Sheet 1—9*. Moscow, Scientific World, 2004.
26. Sokolov S. Yu., Abramova A. S., Zarayskaya Yu. A. et al. Lithosphere Evolution of the Franz-Josef Land Archipelago Based on Mapping the Bottom Denudations of Magma Bodies. *Monitoring. Science and Technologies*, 2016, no. 4 (29), pp. 14—19. (In Russian).
27. Khutorskoy M. D., Leonov Yu. G., Ermakov A. V. et al. Abnormal heat flow and the nature of troughs in the northern part of the Svalbard plate. *Doklady Earth Sciences*, 2009, vol. 424, no. 2, pp. 227—233. (In Russian).
28. Barents shelf plate. Ed. I. S. Gramberg. Leningrad, Nedra, 1988, 263 p. (In Russian).
29. Startseva K. F., Nikishin A. M., Malyshev N. A. et al. Geological and Geodynamic Reconstruction of the East Barents Megabasin FROM Analysis of the 4-Ar Regional Seismic Profile. *Geotectonics*, 2017, vol. 51, no. 4, pp. 383—397.
30. Serov E. K., Dymov V. A. Map of Quaternary Formations. State Geological Map of the Russian Federation. 1:1 000 000. List U-37-40. St. Petersburg, FGUNPP PMGRE, 2004. (In Russian).
31. Reading H. *Sedimentation Environments and Facies*. Vol. 1. Moscow, Mir, 1990, 352 p. (In Russian).
32. Soloviev V. A., Ginsburg G. D. Submarine permafrost area. Forecast of distribution. *Atlas: Geology and minerals of the Russian shelves. Arctic seas of Russia. Sheet 3—9*. Moscow, Scientific World, 2004.
33. State Geological Map of the Russian Federation. 1:1 000 000 (3d generation). *Seria Northern-Kara-Barents*. List R-39, 40 — Kolguev isl. — Kara Gate strait. Explanation note. St. Petersburg, Map Fabric VSEGEI, 2013, 477 p. (In Russian).

Information about the authors

Sokolov, Sergey Yurievich, Doctor Laboratory Head, Geological Institute of RAS (7, b. 1, Pyzhevsky per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: sysokolov@yandex.ru.

Moroz, Eugeniya Andreevich, PhD of Geology and Mineralogy, Senior researcher (7, b. 1, Pyzhevsky per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: morozzea@gmail.com.

Zarayskaya, Yulia Andreevna, PhD of Geology and Mineralogy, Senior researcher, Geological Institute of RAS (7, b. 1, Pyzhevsky per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: geozar@yandex.ru.

Abramova, Anastasia Sergeevna, PhD of Engineering, Senior researcher, Geological Institute RAS (7, b. 1, Pyzhevsky per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: abramanastas@gmail.com.

Ananiev, Roman Aleksandrovich, Researcher, P. P. Shirshov Institute of Oceanology of RAS (36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: corer@mail.ru.

Sukhikh, Elena Aleksandrovna, Researcher, Geological Institute of RAS (7, b. 1, Pyzhevsky per., Moscow, Russia, 119017), e-mail: sukhikh_ea@mail.ru.

Bibliographic description of the article

Sokolov, S. Yu., Moroz, E. A., Zarayskaya, Yu. A., Abramova, A. S., Ananiev, R. A., Sukhikh, E. A. Mapping of dangerous geological objects and processes at the Northern and Central parts of the Barents Sea shelf according to the hydroacoustic data from RV “Akademik Nikolai Strakhov”. *Arctic: Ecology and Economy*, 2023, vol. 13, no. 2, pp. 164—179. DOI: 10.25283/2223-4594-2023-2-164-179. (In Russian).