

УДК 550.8.052

КАРТИРОВАНИЕ ЗВУКОРАССЕИВАЮЩИХ ОБЪЕКТОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ И ИХ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ

© 2017 г. С. Ю. Соколов, Е. А. Мороз, А. С. Абрамова, Ю. А. Зарайская,
К. О. Добролюбова

*Геологический институт РАН, Москва, Россия
e-mail: sysokolov@yandex.ru*

Поступила в редакцию 17.12.2015 г.

После доработки 30.03.2016 г.

Геологическим институтом РАН в северной части Баренцева моря с борта НИС “Академик Николай Страхов” в 25-м (2007 г.) и 28-м (2011 г.) рейсах был проведен комплекс работ по исследованию рельефа дна и верхней части разреза осадочного чехла в рамках программы Международного полярного года. Одним из компонентов аппаратного комплекса являлся мелководный многолучевой эхолот SeaBat 8111 с возможностью регистрации акустического поля, аналогичной сигналу гидролокатора бокового обзора с записью отклика как от дна, так и водной толщи. В районе работ в водной толще были обнаружены интенсивные звукорассеивающие объекты, имеющие дегазационное происхождение от разгрузки глубинных флюидопотоков. Звукорассеивающие объекты и покмарки в рельефе дна связаны с аномалиями концентраций углеводородных газов в донных осадках. Звукорассеивающие объекты локализируются над выходом на дно триасовых комплексов. Наиболее интенсивные дегазационные процессы проявлены вблизи контакта триасовых комплексов и юрских глинистых отложений, а также над глубокими депрессиями в поле аномалий Буге, связанными с фундаментом юрско-меловой рифтовой системы.

DOI: 10.7868/S0030157417040141

ВВЕДЕНИЕ

Использование многолучевых эхолотов для детального картирования рельефа дна привело к прорывным результатам в геоморфологии, тектонике и геологии океанических и шельфовых территорий. Введение в эксплуатацию многолучевых эхолотов с возможностью регистрации акустического поля, аналогичной сигналу гидролокатора бокового обзора (ГБО), позволило одним прибором осуществлять сбор гидроакустической информации различного вида без учета раздельной геометрии приборов с синхронной пространственной привязкой обоих наборов данных. Обработка сонограмм показала, что попутно с характеристиками свойств дна данная приборная база обеспечивает информацией о текущем распределении акустически контрастных свойств водной толщи. Картирование звукорассеивающих объектов (ЗРО) дает возможность их совместной интерпретации со структурами дна, что расширяет когнитивные возможности информации, полученной морскими гидроакустическими комплексами. Имеются различные способы сбора, обработки, визуализации и интерпретации этих данных. В предлагаемой работе приведен простой способ картирования ЗРО в водной толще

при рекогносцировочных съемках. Для работы использовались материалы, полученные Геологическим институтом РАН с борта НИС “Академик Николай Страхов” в 25-м (2007 г.) и 28-м (2011 г.) рейсах в рамках программы Международного полярного года. Работы проводились на северном борту Баренцевоморской впадины вблизи архипелага Земля Франца-Иосифа по системе субширотных галсов. Целью экспедиции было изучение строения верхней части разреза указанного района. В процессе работы были выявлены значительные скопления ЗРО в водной толще, происхождение которых интерпретируется как глубинная дегазация, а не скопление биологических объектов. Данная работа посвящена изложению методов обработки и интерпретации происхождения сонарных аномалий в водной толще. Отметим, что возможное происхождение газов, формирующих в водной толще ЗРО, как то: выход флюида из разрушающейся залежи из-за нарушенной целостности флюидоупора – литологического или физического (подошва газогидратов), прямое поступление флюида из глубинных зон Северобаренцевской впадины, находящихся в катагенетическом интервале температур, или других причин, – в работе не обсуждаются. Авторы

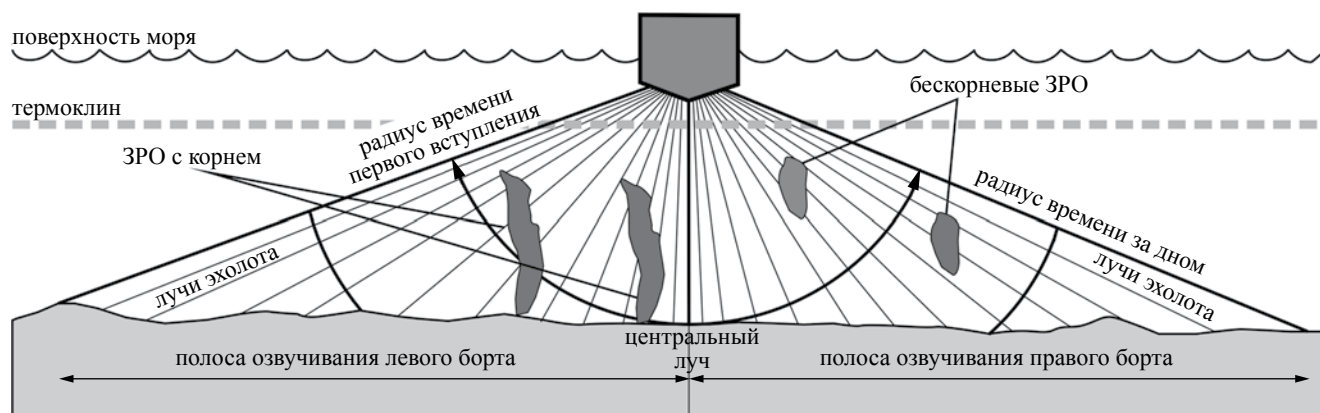


Рис. 1. Основные понятия и геометрия данных при съемке многолучевым эхолотом.

акцентируют исследование на том, что ЗРО сформированы выходами флюидов из дна, и на том, что можно заключить, исходя из пространственного распределения ЗРО, построенного с применением предложенной методики, и его сравнения с независимыми геологическими данными.

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

При съемке рельефа дна многолучевым эхолотом используются устройства с частотами 100–400 кГц для мелководных районов и 12–25 кГц для глубоководных. Регистрация отраженного (вблизи центрального луча) и рассеянного акустического поля производится фазированной решеткой, которая формирует набор лучей в пределах суммарной полосы озвучивания (рис. 1). Для мелководного многолучевого эхолота Seabat 8111, установленного в 2005 г. на НИС “Академик Николай Страхов” (Геологический институт РАН), число лучей составляет 101. По каждому лучу производится детекция времени вступления донного сигнала, которое на основании модельного или измеренного профиля скорости звука пересчитывается в значения глубин. Перед процедурой детекции проводится запись акустического сигнала по каждому лучу от момента излучения до времени, определяемого полной шириной полосы озвучивания. Суммирование по одинаковому времени данных по лучам выборки раздельно по левому и правому бортам позволяет сформировать сигнал, аналогичный сонарной записи ГБО (рис. 2). Для шельфа длительность записи, представленной огибающей интенсивности, как правило, составляет около 750 мс при шаге квантования 200 мкс. Таким образом, пространственная детальность сонарных данных многолучевого эхолота с учетом двух бортов составляет около 7500 точек на излучение, что намного превышает количество лучей, по которым проводится детекция глубин в пределах той же полосы озвучивания.

Обычной процедурой обработки сонарных данных является устранение из записи интервала водной толщи – поправка за наклонную дальность (slant range correction), после которой осуществляется компоновка мозаики интенсивности рассеянного сигнала от структур дна. Но, во многих случаях водная толща содержит интенсивные рассеиватели, связанные или с выходом концентрированных флюидопотоков из грунта в водную толщу, о чем говорит дискретный, а не сплошной характер привязки ЗРО ко дну, или с другими причинами (рис. 2). В этих случаях целесообразно не применять стандартные процедуры и ограничиваться только применением модулей регулировки интенсивности. Грунтовое происхождение подобных аномалий неоднократно было доказано многими комплексными исследованиями, например [13]. Считается установленной взаимосвязь аномалий вертикального акустического освещения сейсмоакустических записей осадочного разреза (газовые столбы) с концентрированными флюидопотоками, нарушающими когерентность записи, формирующими специфические формы рельефа дна (покмарки) и выходы газа в водную толщу в форме пузырьковой разгрузки, рассеивающей сигнал эхолота. Встречаются также горизонтальные аномалии освещения записи под подошвой газогидратов, являющейся флюидоупором, переходящие в вертикальные в местах нарушений или деградации этого слоя. Таким образом под дегазацией в данной работе понимается переход флюида из грунта, где он формирует специфическую запись на разрезах неконсолидированных осадков, в форму свободных пузырьков в водной толще, пространственное распределение которых является предметом картирования.

Использование современного многолучевого эхолота позволяет получать объемную акустическую запись водной толщи в полосе озвучивания (аналогично 3D сейсмическим данным). На указанных выше частотах этот способ регистрации

(water column mapping) генерирует огромный объем данных (первые гигабайты в минуту). Он позволяет получить впечатляющие изображения выходов флюидов в водную толщу [11, 12]. Эти аномалии также называют газовыми факелами, так как они формируются, как правило, за счет рассеяния сигнала на скоплениях газовых пузырьков [8]. Но данный способ записи не используется при обычной рекогносцировочной съемке, когда появление факелов не предполагается, и из-за высокого потребления ресурсов памяти. Включение 3D записи является целесообразным в местах с подтвержденными или ожидаемыми явлениями. Информация о скоплениях рассеивателей, собранная всеми доступными способами, включая однолучевые эхолоты и высокочастотные профилографы, может быть собрана в картографическую базу данных [1, 5, 8]. Такие базы имеют большое значение для поисковых, экологических и инженерно-технических задач.

В связи с этим был предложен более компактный, чем полная 3D визуализация, способ формирования рекогносцировочных карт с информацией о ЗРО. Поскольку сонарная мода многолучевая эхолота – это интеграл по лучам для текущего времени в двух полупространствах слева и справа от траектории движения судна, точное определение местоположения ЗРО в водной толще невозможно (рис. 1). Если донное рассеяние на сигнале ГБО привязано к дну, то ЗРО в водной толще теоретически может находиться в любом месте пространства под траекторией судна на радиусе, равном времени первого вступления

сигнала от дна (рис. 1). Если ЗРО проявлено на записи только с одного борта, это ограничивает его положение соответствующим полупространством (рис. 2). Если ЗРО более или менее симметрично на записи, это означает, что оно находится вблизи центрального луча. Данные рассуждения имеют отношение для цилиндрической области под траекторией судна, имеющей переменный радиус времени вступления донного сигнала. Для времен, превышающих это значение, амплитуды сигнала ЗРО резко падают по сравнению с донным рассеиванием, и надежная детекция ЗРО в водной толще практически невозможна на фоне более высокоамплитудных значений. Это справедливо для безкорневых ЗРО, не имеющих связи с дном. Обнаружение ЗРО в водной толще за радиусом времени первого вступления возможно в случае ЗРО типа “газовый факел”, имеющего корневую привязку ко дну, если тело ЗРО вытянуто и поднимаясь от поверхности дна пересекает радиус времени первого вступления (рис. 1). В этом случае мы предполагаем, что ЗРО с корнем находится либо в области центрального луча, либо с одного из бортов с визуализацией только части в пределах радиуса времени первого вступления, но точное местоположение его корня определить не удастся.

Кроме описанных выше типов ЗРО на записи в водной толще также наблюдается субпараллельный дну сигнал, связанный с контрастной по гидрофизическим свойствам воды границей термоклина. В ряде случаев эта граница может формировать сигнал, сопоставимый по интенсивности

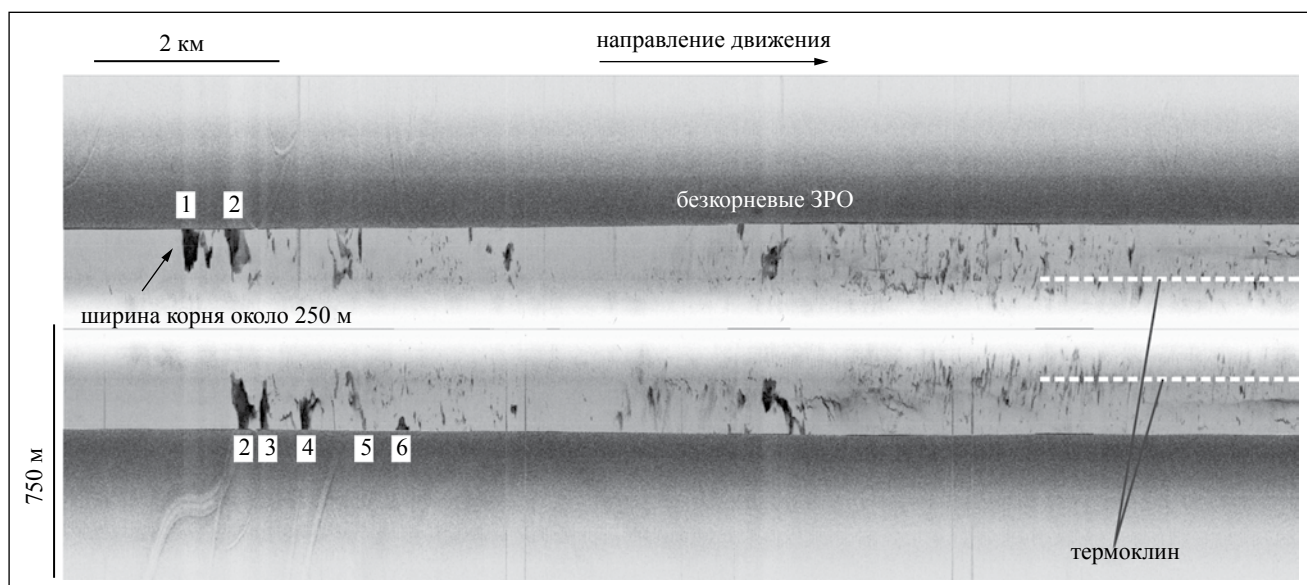


Рис. 2. Образец записи сонарных данных эхолота с безкорневыми и корневыми ЗРО без коррекции сигнала за водную толщу. Показан участок с мега-факелами (размер корня факела около дна превышает 100 м). Местоположение мега-факелов показано на рис. 3 и 5. Номерами в квадратах обозначена проиндексированная серия корневых ЗРО.

с донным, и картироваться аналогично поверхности дна. Так как этот сигнал происходит от неоднородностей в водной толще, в приведенном примере его аномалии сопоставимы по амплитуде с безкорневыми ЗРО, наложены друг на друга и не мешают раздельной детекции их типов.

Учитывая принципиальные ограничения по определению местоположения ЗРО в пределах полосы озвучивания был реализован следующий упрощенный способ построения карт объектов этого вида. В программной среде RadExPro (Деко-Геофизика, Россия), предназначенной для интерпретации сейсмических данных в формате SEG-Y и позволяющей осуществлять пикировку (picking) волнового поля, осуществляется интерпретация типов, пикирование положения ЗРО вдоль маршрута движения судна и фиксация их параметров (высота, ширина). Положение ЗРО на времени трассы не учитывается. Поскольку выявленные ЗРО формально имеют точную привязку только вдоль маршрута, а в поперечном измерении (acrosstrack) существует неопределенность, сопоставимая с полушириной полосы озвучивания, на карту выносятся результат этой точечной пикировки, совпадающей с траекторией судна. Учитывая изменчивость проявлений ЗРО во времени (время суток, время года, действие течений и проч.), подобный подход для построения карт объектов этого вида вполне пригоден для выявления ключевых областей с ЗРО с последующей организацией картирования водной толщи и полной объемной регистрацией по необходимости.

АНАЛИЗ ОБЪЕКТОВ ЗРО

Рассмотрим пример сонарных данных многолучевого эхолота с проявлениями ЗРО (рис. 2). В начальной части сонограммы наблюдается серия объектов с корнями на дне. Причем ширина корня объекта 1 достигает 250 м. Поскольку он проявлен только на левом борту, идентификация его положения относительно маршрута судна не вызывает сомнений. Объект 2 имеет практически симметричное отображение в рассеянном поле с обоих бортов, что говорит о его положении прямо по курсу судна. Объекты 3 и 4 отображены только с правого борта. Объект 5 приобретает слабые признаки с левого борта, но преимущественно расположен на правом борту. Наконец, объект 6 расположен только на правом борту и имеет высоту почти в 3 раза меньшую, чем у объектов 1 и 2, но сходную интенсивность рассеяния. Зарегистрированная цепочка корневых ЗРО, многие из которых имеют ширину корня, превышающую 100 м, имеет псевдопериодический характер распределения в пространстве с шагом около 350 м. Отмеченные особенности ЗРО указывают на то,

что обнаруженный кластер мега-факелов (ЗРО с шириной корня более 100 м) проявлен как линейная система, расположенная относительно маршрута судна слева направо под некоторым углом. Этот угол может быть оценен следующим образом. Поскольку высота мега-факелов в начале цепочки приблизительно одинаковая, то место укорочения высоты объекта 6 до видимого минимума от объекта 2 указывает на выход факела за пределы времени первого вступления и может быть взят как прилежащий катет (~1700 м), а высота объекта 2, находящегося на маршруте судна дает оценку противлежащего катета (~160 м). Это дает угол около 6 градусов. Отметим, что оценка сделана по большой базе, но в реальности мега-факелы могут быть расположены далеко не в линию. Вблизи цепочки мега-факелов наблюдаются борозды ледникового выпахивания, но прямых доказательств инициации дегазации этим явлением в наших данных нет.

В центральной части сонограммы (рис. 2) наблюдается появление безкорневых ЗРО различной формы. Это небольшие рассеиватели, которые могут быть связаны с биологическими объектами, а также узкие и вертикально вытянутые рассеиватели, не имеющие корней, но которые тем не менее могут быть связаны с корневыми ЗРО, находящимися далеко в стороне от полосы озвучивания. Наблюдаются большие безкорневые ЗРО, обладающие амплитудами, сопоставимыми с мега-факелами. Возможен перенос рассеивающих объектов течениями. О влиянии течений говорит непрерывная цепочка рассеивателей, связанная с сильным безкорневым ЗРО, переходящая в субгоризонтальную аномалию ниже положения аномалии термоклина. В связи со сказанным, пикировка ЗРО для сравнения их пространственного распределения и геологических особенностей проводилась по всем крупным ЗРО, так как из-за динамики среды скопления рассеивателей могут быть перемещены на значительные расстояния от корней — зон разгрузки флюидопотоков из грунта в водную толщу.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗРО И ДОННЫХ ОСАДКОВ

Распределение ЗРО отличается наличием плотных пространственных кластеров этих объектов (рис. 3). Основное их проявление сосредоточено в области тектонического трога Франц-Виктория, расположенного субмеридионально к западу от Земли Франца-Иосифа, и резко обрывается на западных частях галсов, выходящих на сводовое поднятие о. Виктория. Плотные кластеры ЗРО в пространстве повторяются от профиля к профилю. Это является подтверждением закономерного проявления данного феномена, связанного

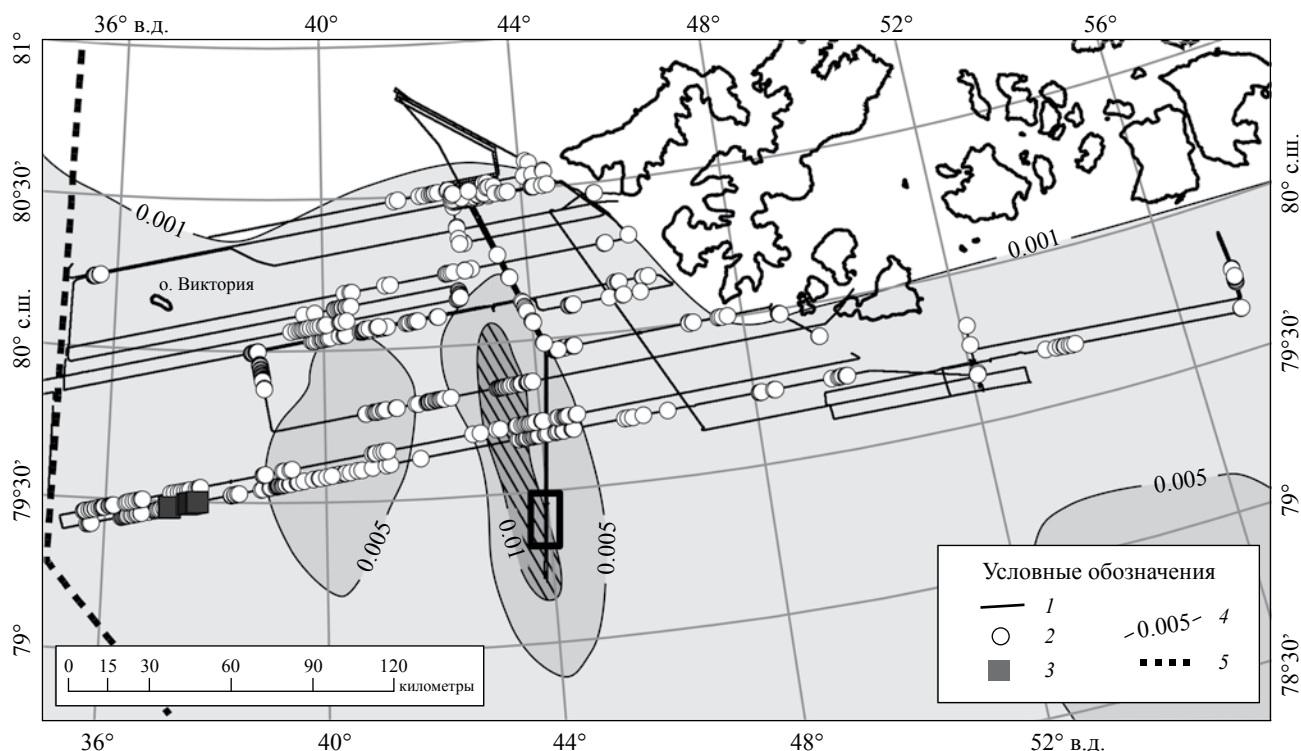


Рис. 3. Карта ЗРО в северной части Баренцева моря на юго-западном обрамлении архипелага Земля Франца Иосифа по данным работ 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» (2007; ГИН РАН) и концентрация углеводородных газов в донных осадках [10]. Квадратом показано расположение района с покмарками (рис. 4). 1 – Маршрут 25-го рейса НИС «Академик Николай Страхов»; 2 – ЗРО; 3 – мега-факелы ($d > 100$ м); 4 – изолинии концентрации газов $\text{см}^3/\text{кг}$; 5 – государственная граница 2011 г.

с фактором пространственной привязки. Между и вдоль различных профилей проходит время, съемка может проводиться в разное время суток. Это значит, что коррелируемые от галса к галсу пространственные кластеры ЗРО являются постоянно действующим явлением, по крайней мере, во временном интервале нескольких суток. Точное время проявлений ЗРО может быть получено по навигационным файлам. Полную картину поведения ЗРО во времени может дать только мониторинг, выполняемый в стационарном положении приема с отслеживанием суточных, сезонных и прочих вариаций.

Особая плотность кластеров ЗРО проявлена на аномалиях концентраций углеводородных газов [10] в этой части акватории (рис. 3). Это поддерживает интерпретацию выделенных ЗРО как объектов с дегазационной природой, а не объектов водных гидрофизических аномалий, связанных только с циркуляцией вод и биологическим фактором без привязки ко дну. Аномалии концентраций газов выше $0.005 \text{ см}^3/\text{кг}$ [10] представлены двумя полями, вытянутыми вдоль структур трого Франц-Виктория. На южных галсах кластеры ЗРО хорошо совпадают с конфигурацией аномалий. Вместе с тем можно отметить плотные

поля ЗРО на западе и на севере района работ вне аномалий. Это объясняется неполнотой сети наблюдений, на которой построена карта [10], при которой ряд аномалий мог быть пропущен. Но теоретически существует также вариант временной эволюции флюидопотоков, который в данной работе не может быть исследован из-за отсутствия повторных измерений. Отметим также, что ЗРО встречаются преимущественно в местах, где отсутствует прогнозная субмаринная криолитозона [7], которая может являться локальным флюидоупором, деградирующим в эпоху потепления [3]. Таким образом, предварительная непротиворечивая концепция происхождения закартированных ЗРО связана с их глубинным происхождением и дегазацией из мезозойских отложений в водную толщу через четвертичные отложения.

СОПОСТАВЛЕНИЕ ЗРО И ДОЧЕТВЕРТИЧНОЙ ГЕОЛОГИИ

Кроме ЗРО в южной части района работ по батиметрическим данным многолучевого эхолота было закартировано поле газовых воронок – покмарок (рис. 4), расположенное на аномалии концентрации газов более $0.01 \text{ см}^3/\text{кг}$ (рис. 3). Это

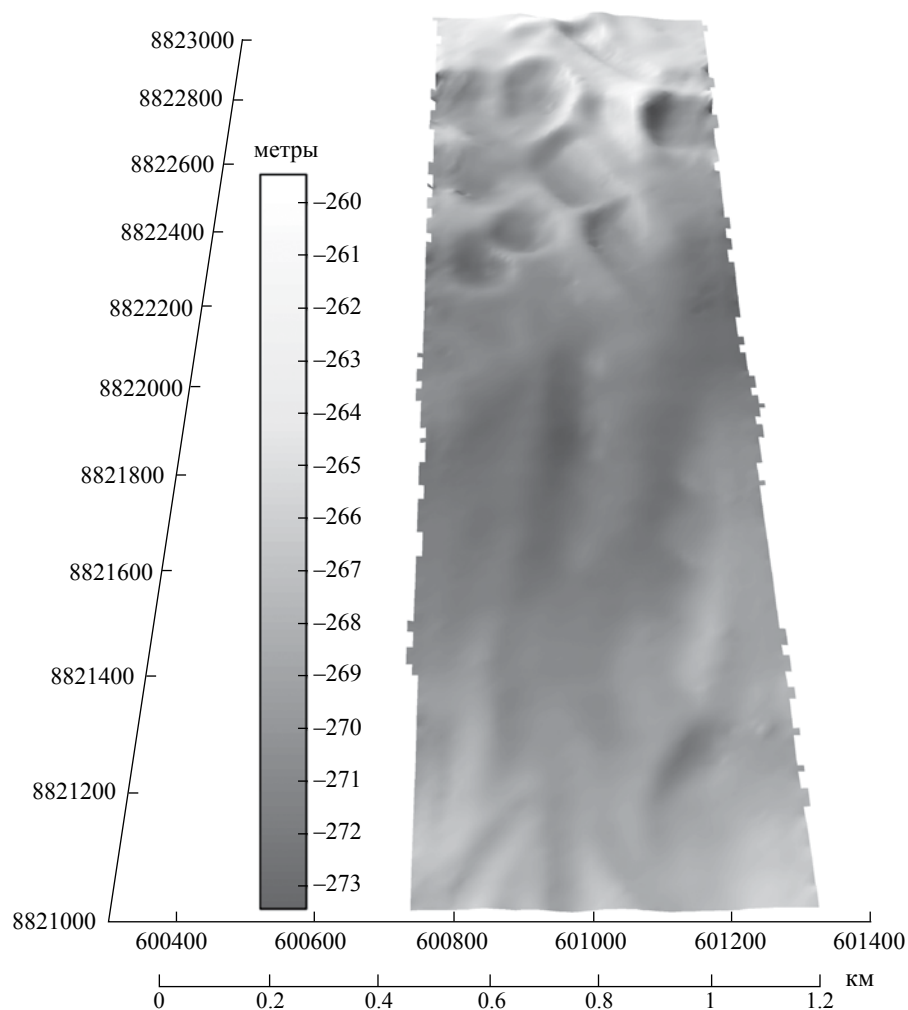


Рис. 4. Фрагмент батиметрической съемки с покмарками по данным 28-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” (2011; ГИН РАН). Координаты – УТМ37. Положение показано на рис. 3, 5.

показывает наличие прямой связи поступления флюидов и явлений, связанных с их выходом в водную толщу, с повышением концентрации газов в донных осадках. Кластер покмарок (рис. 4) насчитывает 8 воронок с максимальным размером до 170 м и глубиной до 7 м. Особо необходимо отметить, что такая концентрация покмарок в данном районе является редкостью и проявлена на границе отложений триаса и юры (рис. 5), которая является региональным флюидоупором [2]. Принимая во внимание моноклиальный характер залегания мезозойских отложений на северном борту Баренцевоморской впадины и их эрозийный срез вблизи сводовых поднятий, можно заключить, что источником дегазации являются триасовые комплексы. Флюиды выходят из них в водную толщу за пределами контура, определяемого юрскими глинистыми отложениями. Также ЗРО отсутствуют в северо-западной части района, где обнажаются верхнепалеозойские комплексы

пород, что ограничивает снизу интервал возраста пород, из которых наблюдается дегазация.

Практически все кластеры ЗРО по данным, использованным в работе, расположены на выходах триасовых отложений. Отметим, что в наших данных мало пересечений контакта юры и триаса для того, чтобы уверенно подтвердить привязку дегазации непосредственно к зонам, не закрытым юрским флюидоупором. Но в юго-западной части съемки, проходящей параллельно и к северу от этого контакта, нами были обнаружены мега-факелы (рис. 2, 5), показывающие по результатам работ максимальную наблюдаемую разгрузку флюидов в водную толщу. По данным [4], район работ покрыт четвертичным осадочным чехлом от 5 до 50 м (в палеоврезах), который является промежуточной средой для флюидов, поступающих из раннемезозойских комплексов в водную толщу, а также является слабоконсолидированным слоем, в котором проявлены покмарки и другие

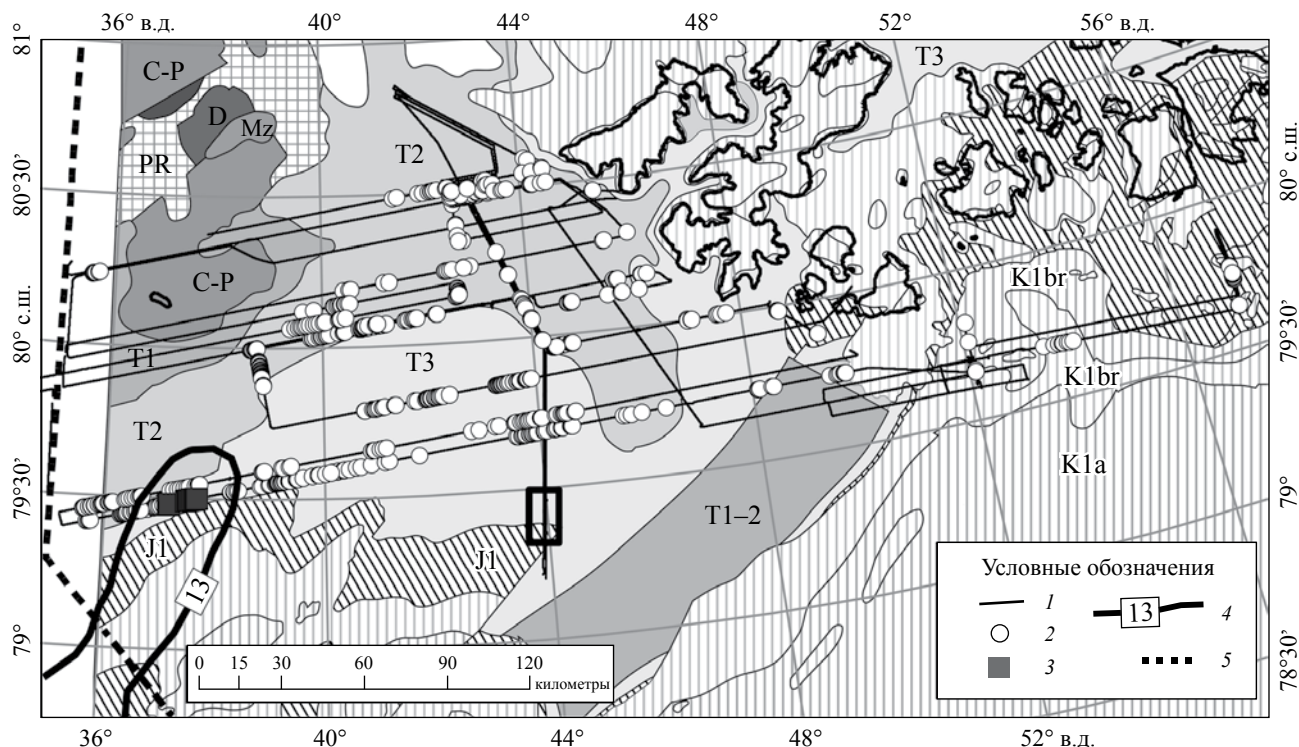


Рис. 5. Карта ЗРО в северной части Баренцева моря на юго-западном обрамлении архипелага Земля Франца Иосифа по данным работ 25-го рейса НИС “Академик Николай Страхов” (2007; ГИН РАН) и дочетвертичная геология района работ (с упрощением карт масштаба 1:1000000). Квадратом показано расположение района с покмарками (рис. 4).
1 – Маршрут 25-го рейса НИС “Академик Николай Страхов”; 2 – ЗРО; 3 – мега-факелы ($d > 100$ м); 4 – изолиния аномалий Буге (мГал); 5 – государственная граница 2011 г.

индикаторы процессов дегазации, невозможные в случае древних консолидированных пород.

По данным гравитационных аномалий Буге [6], в исследуемой части Баренцевоморского шельфа выделяется локальный минимум менее 13 мГал (рис. 5), который показывает наличие глубокой депрессии фундамента. Подобные минимумы на шельфе всегда являются объектом повышенного интереса по соображениям, связанным с особенностями осадочных бассейнов, а в случае Баренцева моря также и с соленосными провинциями. В нашем случае отмеченный локальный минимум аномалий Буге связан с ответвлением юрско-меловой рифтовой системы [9], которая ассоциируется с накоплением терригенных толщ и повышенным тепловым потоком. Хорошо видно (рис. 5), что мега-факелы расположены над вытанутой структурной депрессией фундамента, оконтуренной изолинией 13 мГал. Суммарный перепад депрессии в редукции Буге составляет 20–30 мГал [6]. Концентрированное расположение мега-факелов в этом районе указывает на наличие газосодержащего источника повышенной продуктивности.

ВЫВОДЫ

1. Наиболее интенсивные корневые и безкорневые ЗРО имеют дегазационное происхождение, источником рассеяния является газ от разгрузки глубинных фокусированных флюидопотоков, а не от гидрофизических или биологических объектов.
2. ЗРО проявлены преимущественно в местах, где отсутствуют ловушки свободного газа, связанные с субмаринной криолитозоной.
3. Коррелируемые в пространстве кластеры ЗРО и покмарки в рельефе дна формируют поля, связанные с аномалиями концентраций углеводородных газов в донных осадках.
4. Практически все ЗРО и мега-факелы (корневые ЗРО с шириной корня более 100 м) обнаружены над выходом на дно триасовых комплексов, подверженных эрозионным процессам.
5. Покмарки и мега-факелы проявлены вблизи мест контакта триасовых комплексов и юрских глинистых отложений, являющихся региональным флюидоупором. Это указывает на возможность выхода флюидов в водную толщу при условии отсутствия экранирующих отложений.

6. Мега-факелы на акватории расположены над глубокими (перепад 20–30 мГал) депрессиями в поле аномалий Буге, связанными с фундаментом юрско-меловой рифтовой системы, что указывает на наличие в такой депрессии газосодержащего источника повышенной продуктивности.

Авторы благодарят экипаж НИС “Академик Николай Страхов” за самоотверженную работу в тяжелых условиях, в которых был получен использованный в статье материал.

Работа выполнена в рамках темы “Оценка связи рельефа дна Атлантического и запада Северного Ледовитого океанов, деформаций осадочного чехла, процессов дегазации и опасных геологических явлений с геодинамическим состоянием коры и верхней мантии” (государственная регистрация № 01201459183), а также при поддержке РФФИ (гранты № 15-05-05888, № 13-05-12076 офи_м, № 14-05-00122), программ Президиума № I.18П, I.43П, II.3П и научной школы НШ_5177.2012.5.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баранов Б.В., Дозорова К.А., Саломатин А.С. Покмарки восточного склона острова Сахалин // Вестн. КРАУНЦ. Науки о земле. 2011. № 2. С. 31–43.
2. Волож Ю.А., Антипов М.П., Шипилов Э.В., Малышев Н.А. Комплексные четырехмерные модели нефтегазоносных осадочных бассейнов восточной окраины Восточно-Европейского палеозойского континента // Фундаментальные проблемы геологии и геохимии нефти и газа и развития нефтегазового комплекса России. М.: ГЕОС, 2007. С. 95–107.
3. Лобковский Л.И., Никифоров С.Л., Шахова Н.Е. и др. О механизмах деградации подводных многолетнемерзлых пород на восточном арктическом шельфе России // Докл. РАН. 2013. Т. 449. № 2. С. 185–188.
4. Мусатов Е.Е. Структура кайнозойского чехла и неотектоника Баренцево-Карского шельфа по сейсмоакустическим данным // Российский журнал наук о Земле. 1998. Т. 1. № 2. С. 157–183.
5. Саломатин А.С., Юсупов В.И. Акустические исследования газовых “факелов” Охотского моря // Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 911–919.
6. Соколов С.Ю. Тектонические элементы Арктики по данным мелкомасштабных геофизических полей // Геотектоника. 2009. № 1. С. 23–38.
7. Соловьев В.А., Гинзбург Г.Д. Субмаринная криолитозона. Прогноз распространения // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. Арктические моря России. Лист 3–9. М.: Научный мир, 2004.
8. Черных Д.В. Разработка методов и программных средств акустического зондирования водной толщи и дна океана в зонах разгрузки метана / Автореф. дисс. на соиск. уч. ст.к.т.н. 25.00.28. М. 2014. 22 с.
9. Шипилов Э.В. К тектоно-геодинамической эволюции континентальных окраин арктики в эпохи молодого океанообразования // Геотектоника. 2004. № 5. С. 26–52.
10. Яшин Д.С. Распределение углеводородных газов в донных осадках // Атлас: Геология и полезные ископаемые шельфов России. Арктические моря России. Лист 1–9. М.: Научный мир, 2004.
11. Naudts L., Greinert J., Artemov Y. et al. Geological and morphological setting of 2778 methane seeps in the Dnepr paleo-delta, northwestern Black Sea // Marine Geology. 2006. V. 227. № 3. P. 177–199.
12. Weber T.C., Pena H., Jech M. Consecutive acoustic observations of an Atlantic herring school in the Northwest Atlantic // ICES J. Mar. Sci. 2009. V. 66. № 6. P. 1270–1277.
13. Westbrook G.K., Thatcher K.E., Rohling E.J. et al. Escape of methane gas from the seabed along the West Spitsbergen continental margin // Geoph. Res. Lett. 2009. V. 36. № 15. P. 1–5.

Mapping of Sound Scattering Objects Over Northern Part of Barents Sea and Their Geological Interpretation

S.Yu. Sokolov, E.A. Moroz, A.S. Abramova, Yu.A. Zarayskaya, K.O. Dobrolubova

Geological institute of RAS provide in 25-th (2007) and 28-th (2011) cruises of R/V “Академик Николай Стрakov” at Northern part of Barents Sea a survey for investigation of bottom topography and upper sedimentary section within the program of International Polar Year. One of the equipment components used was multibeam echosounder SeaBat 8111 with ability of scattering sound signal acoustic mapping of bottom and water column similarly to sidescan sonar. Sound scattering objects (SSO) of high intensity were discovered over investigated region, which have degasation origin from discharge of deep fluid flows. SSO and pockmarks in bottom relief are related to hydrocarbon gas concentration anomalies in bottom sediments. SSO are localized over the Triassic sequence outcrops. The most intensive degasation processes are observed near the contact of Triassic sequence and Jurassic clay deposits, and also over the deep minimum in Bouguer anomalies, related to basement of Jurassic-Cretaceous rift system.