

Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря

С.Ю. Соколов^{1*}, Е.А. Мороз¹, Е.А. Сухих¹, А.А. Разумовский¹, О.В. Левченко²

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

²Институт океанологии РАН, Москва, Россия

Исследования акустических аномалий в водной толще и сейсмоакустических аномалий в разрезе четвертичных отложений Печорского моря и их связи с глубинными источниками углеводородов были проведены Институтом океанологии РАН и Геологическим институтом РАН в 38-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» в 2018 г. Картирование проявлений свободного газа образует дополнительный индикатор тектонической активности и каркаса разломной сети, по которой идет поступление флюидов из глубоких горизонтов. Сопоставление данных сейсмоакустической съемки высокого разрешения с данными глубинной сейсмозаземки показывает, что флюид в верхней части разреза сначала аккумулируется под подошвой юрско-меловых осадочных комплексов, являющихся флюидоупором. Локальные нарушения флюидоупора приводят к дальнейшему подъему и перераспределению свободного газа в четвертичных комплексах. Естественное или искусственное нарушение их целостности приводит к выбросам газа в водную толщу из приповерхностных скоплений, обнаруживаемых в виде аномалий типа «яркое пятно» на сейсмоакустической записи. Картирование звуко рассеивающих объектов в водной толще показывает области дегазации, которые, как правило, расположены над глубинными разломами. «Яркие пятна» свободного газа в четвертичном комплексе имеют разнообразную форму – многоярусную и наклоненную. Прорывы газа в водную толщу имеют место около краев этих аномалий. Систематическое картирование рассмотренных явлений является необходимым элементом при подготовке района к промышленной эксплуатации.

Ключевые слова: звуко рассеивающий объект, сейсмоакустика, разлом, дегазация, яркое пятно

Для цитирования: Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Сухих Е.А., Разумовский А.А., Левченко О.В. (2019). Проявления глубинной дегазации в водной толще и верхней части разреза Печорского моря. *Георесурсы*, 21(4), с. 68-76. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.68-76>

Введение

Печорское море обладает хорошей геолого-геофизической изученностью глубинными сейсмическими методами и бурением, результаты которого суммированы в Государственной геологической карте 3-го поколения (Государственная геологическая карта..., 2013) (рис. 1). Углеводородный потенциал этого района огромен, и в море с платформы уже введено в эксплуатацию месторождение Приразломное. Бурение в Печорском море сталкивалось с аварийными выбросами газов. При бурении с БС «Бавенит» ОАО АМИГЭ в Печорском море в 1995 г. в 60-70 км к западу от острова Вайгач была вскрыта залежь газа на глубине 50 м под дном внутри песчаных отложений под мерзлой льдистой толщей. Произшедший в результате выброс газа в водную толщу создал аварийную ситуацию для бурового судна, а газирование продолжалось несколько суток с постепенным затуханием (Бондарев и др., 2002; Богоявленский, 2015). Верхняя часть разреза (ВЧР) осадочной толщи в этом районе, как и в других частях Баренцева моря (Solheim et al., 1998) характеризуется сильной переменчивостью состава, мощности четвертичных отложений и диамиктона (Крапивнер, 2018; Дунаев и др., 1995), залегающих на эродированных мезозойских комплексах (Шипилов, Шкарубо, 2010), и наличием

мерзлых пород (Крапивнер, 2018), которые являются флюидоупором для свободного газа. Эти образования не могут быть изучены при разрешении сейсмических исследований разреза на глубины до 10 км с использованием источников сигналов с частотами до 100 Гц.

Исследования ВЧР проводятся с использованием сейсмоакустических систем на основе электроискровых источников (частоты до 1000 Гц), профилографов с излучением частотно-модулированных сигналов (частоты от 2 до 16 кГц) или параметрическими профилографами (Левченко, Мерклин, 2003). Детальное картирование ВЧР также сопровождается многолучевым эхолотированием (МЛЭ), как правило, с возможностью регистрации акустического поля в виде, аналогичном гидролокатору бокового обзора (ГБО), и с записью звуко рассеивающих объектов (ЗРО) в водной толще. Степень изученности Печорского моря сейсмоакустическими методами очень высока. В ходе этих исследований помимо разделения четвертичных отложений на сеймостратиграфические комплексы и сеймофации по характерным особенностям волнового поля установлены факты газонасыщенности в слабоконсолидированных породах ВЧР (Костин, Тарасов, 2011; Рокос и др., 2001). Указывается, что скопления свободного газа приурочены преимущественно к зонам мерзлоты в области глубин моря 50-70 метров и мельче.

В результате исследований 13-го рейса НИС «Академик Сергей Вавилов» (Институт океанологии РАН, 1998) (Левченко, Мерклин, 2003) в Печорском море было

* Ответственный автор: Сергей Юрьевич Соколов
E-mail: sysokolov@yandex.ru

© 2019 Коллектив авторов

выявлено множество акустических аномалий, связанных с миграцией углеводородов из глубинных месторождений в ВЧР и в зоны развития криолитогенеза. Скопления углеводородов в виде газовых линз наблюдаются в меловых комплексах, кровля которых в Печорском море по данным каркасной сети профилей 2008-2009 гг. расположена на глубинах до 300 метров (разрез KS1004, скв. Поморская-1) (Казанин и др., 2011). При наличии тектонических нарушений (разрезы KS0928 и KS0932) углеводороды могут мигрировать в ВЧР и в водную толщу с формированием наблюдаемых акустических аномалий разнообразных конфигураций в зависимости от соотношения с криолитозоной. Изучение природы этих явлений, связанных с глубинными источниками углеводородов, были продолжены в 38-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» (Институт океанологии РАН, Геологический институт РАН, 2018), схема работ которого показана на рис. 1. В настоящей работе использованы данные многолучевого эхолота SeaBat 8111 (Дания) с сонарной модой и непараметрического профилографа EdgeTech 3300 (США). Кроме того использованы материалы 2D МОВ ОГТ.

Дегазация в морском продолжении Варандей-Адзвинской структурной зоны

Одним из районов работ 38-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» была площадка бурения в 1995 г. БС «Бавенит» (Бондарев и др., 2002; Богоявленский, 2015) где был зафиксирован случай выброса газа (рис. 2).

Положение полигона на тектонических структурах таково, что он покрывает выходящие практически к поверхности надвиговые нарушения продолжения Варандей-Адзвинской структурной зоны на акватории около аварийной скважины. При подходе к полигону был пересечен сейсмический разрез ОГТ 078917 (рис. 3), в верхней части которого видна аномалия типа «яркое пятно» над срезанными надвиговыми структурами Варандей-Адзвинской зоны. Флюидная природа аномалии не подлежит сомнению из-за резкого роста амплитуды отрицательной фазы в аномалии и инверсии полярности в северо-восточном крае аномалии. Отметим, что, судя по разрезу, источником флюида являются надвинутые комплексы, залегающие с северо-восточным азимутом падения, которые, по данным (Соборнов, 2018), могут иметь раннепалеозойский возраст и быть источником мигрирующих вверх углеводородов. Залегающие на эродированной поверхности юрско-меловые комплексы с глинистыми породами могут быть флюидоупором, но мелкие дислокации подошвы осадочных комплексов на глубине около 600 мс в данном сегменте разреза формируют каналы для просачивания флюидов в перекрывающий юрско-меловой комплекс и четвертичные отложения.

На рис. 4 приведен субширотный разрез, полученный профилографом EdgeTech 3300 в диапазоне частот 2-6 кГц через район скважин 480 и 481 (Бондарев и др., 2002). В режиме усиления, настроенном на донные рефлекторы видно (рис. 4А), что центральная часть разреза, откуда,

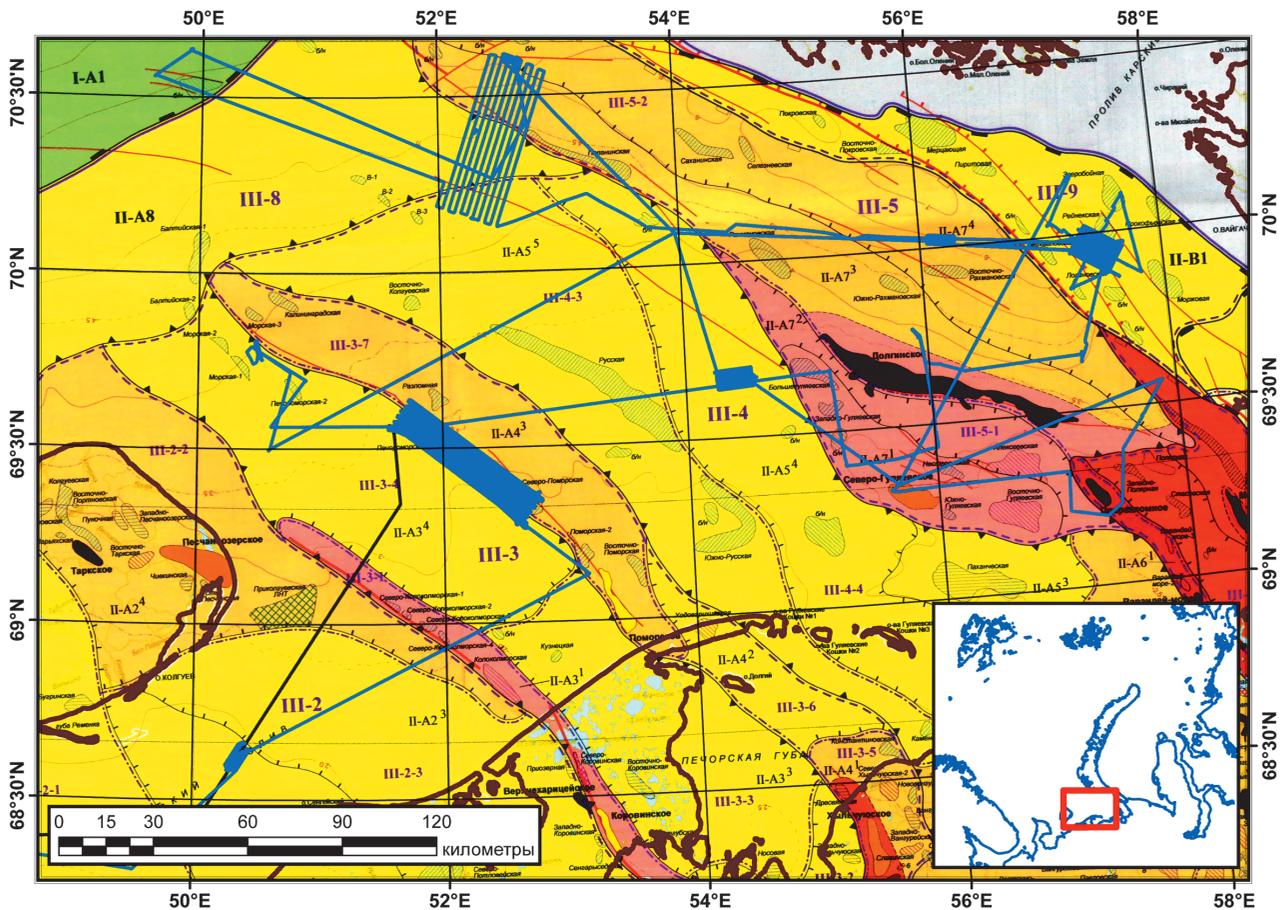


Рис. 1. Схема работ 38-го рейса НИС «Академик Николай Страхов» (Институт океанологии РАН, Геологический институт РАН, 2018). Профили сейсмоакустической съемки показаны синей линией. В качестве топографической основы использована карта прогноза на нефть и газ из комплекта Государственной геологической карты R-39-40 3-го поколения (Государственная геологическая карта..., 2013). На врезке – положение основного планшетов в пределах акватории Баренцева моря.

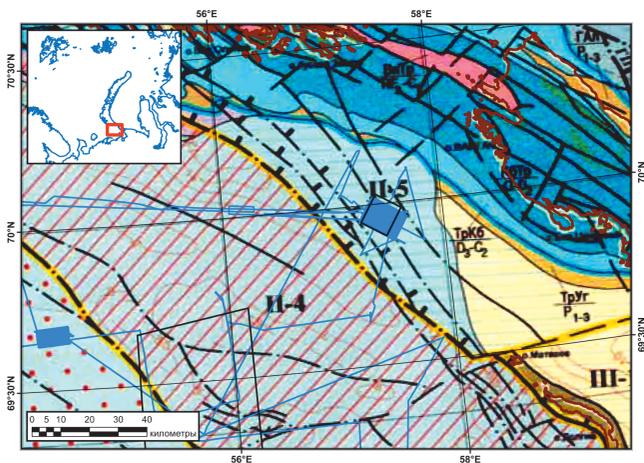


Рис. 2. Схема работ 38-го рейса НИС «Академик Николай Стрехов» (Институт океанологии РАН, Геологический институт РАН, 2018) и полигона (черный квадрат) в районе бурения в 1995 г. БС «Бавенит» (Бондарев и др., 2002; Богоявленский, 2015), расположенного на морском продолжении Варандей-Адзвинской структурной зоны. В качестве топографической основы использована тектоническая карта из комплекта государственной геол. карты R-39-40 3-го поколения (Государственная геологическая карта..., 2013). На врезке – положение основного плана в пределах акватории Печорского моря.

по данным (Бондарев и др., 2002), проходило газирование, представлена акустически прозрачной записью, не содержащей признаков акустической стратификации. В режиме усиления, настроенном на визуализацию ЗРО в водной толще (рис. 4Б), видно, что над этой зоной не наблюдается аномалий сейсмоакустической записи. Это указывает на то, что, скорее всего, после проходки скважины через мерзлые породы 23 года назад скопившийся в окрестности зоны бурения свободный газ, в основном, вышел в водную толщу, и пластичная мерзлая среда закрыла канал его поступления. В западной части разреза

присутствует акустическая стратификация четвертичных отложений, и наличие в отдельных сегментах записи локальных аномалий типа «яркое пятно» указывает на скопление газов в этой части разреза. Наличие редких ЗРО в водной толще, как безкорневых, не имеющих привязки аномалии ко дну, так и корневых, прослеживаемых от верхнего рассеивателя звука до дна, показывает слабую дегазацию из донных отложений, но не катастрофическую. Об этом говорит наличие ненарушенных «ярких пятен». В восточной части разреза признаков дегазации существенно больше, но аномалии записи в осадках отсутствуют. Таким образом, существуют различные стадии дегазационных процессов – накопление с формированием «ярких пятен», дегазация по системе естественных каналов, сопровождающаяся затуханием амплитуды в аномалиях, и катастрофическая техногенная дегазация.

Записи аномалий водной толщи, полученные сонарной модой многолучевого эхолота на частоте 100 кГц (рис. 5), показывают аналогичное распределение ЗРО вдоль того же профиля. Поскольку угол озвучивания вкост движения судна составляет 150°, в запись попадают ЗРО, находящиеся в стороне от линии профиля. Кроме того, заметно эффективнее обратный рассеянный сигнал от головных частей ЗРО в водной толще и от корневых частей ЗРО. Последнее видно на увеличенной врезке в западной части профиля, что показывает грунтовое происхождение звукорассеивающих аномалий. В силу большой полосы сонарного озвучивания в отличие от профилографа, на запись попадает сборка аномалий из широкой полосы съемки. На рис. 6 приведены примеры сонарных данных из прилегающих к ANS38-P3-26 районов полигона, содержащие корневые и безкорневые ЗРО. Примеры показывают грунтовый генезис контрастных гидрофизических условий, формирующих рассеянный сигнал, и являются индикатором глубинных дегазационных процессов в районе работ.

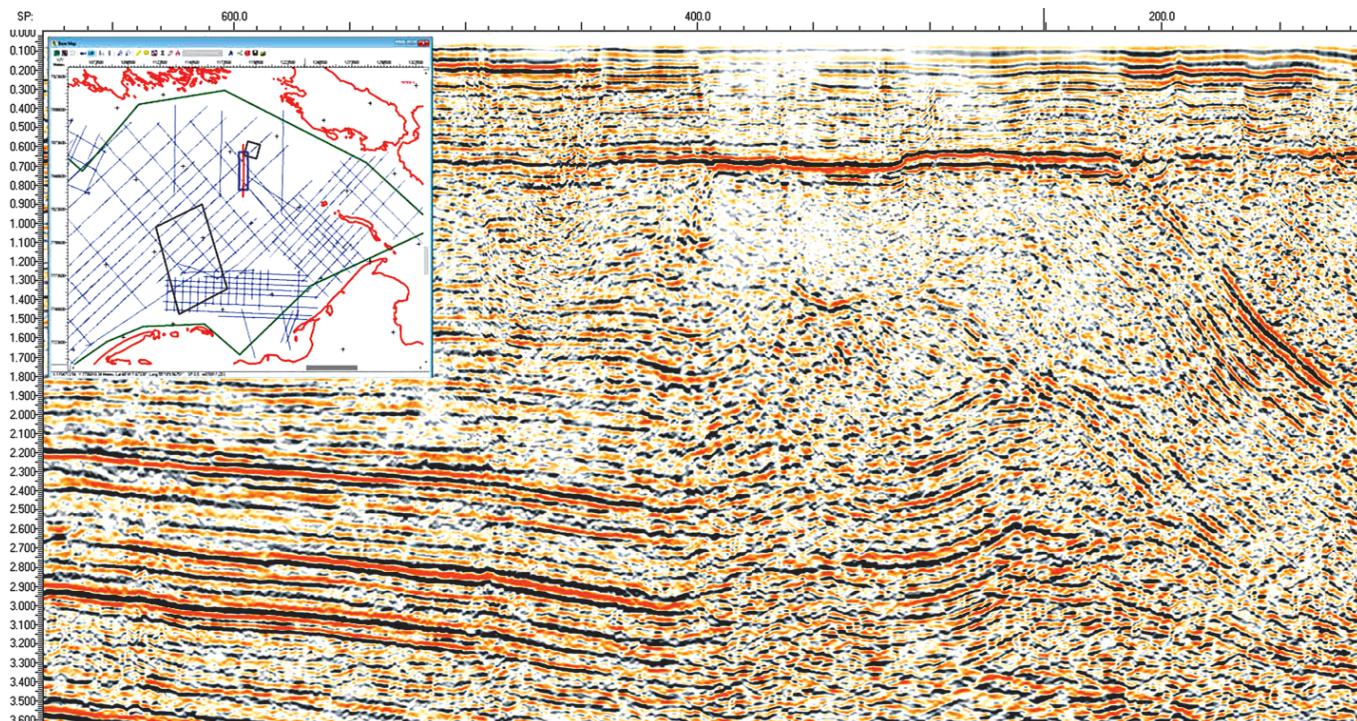


Рис. 3. Фрагмент разреза ОГТ 078917 (положение на врезке). По вертикали – секунды, по горизонтали – номер CDP сборки с шагом 50 м.

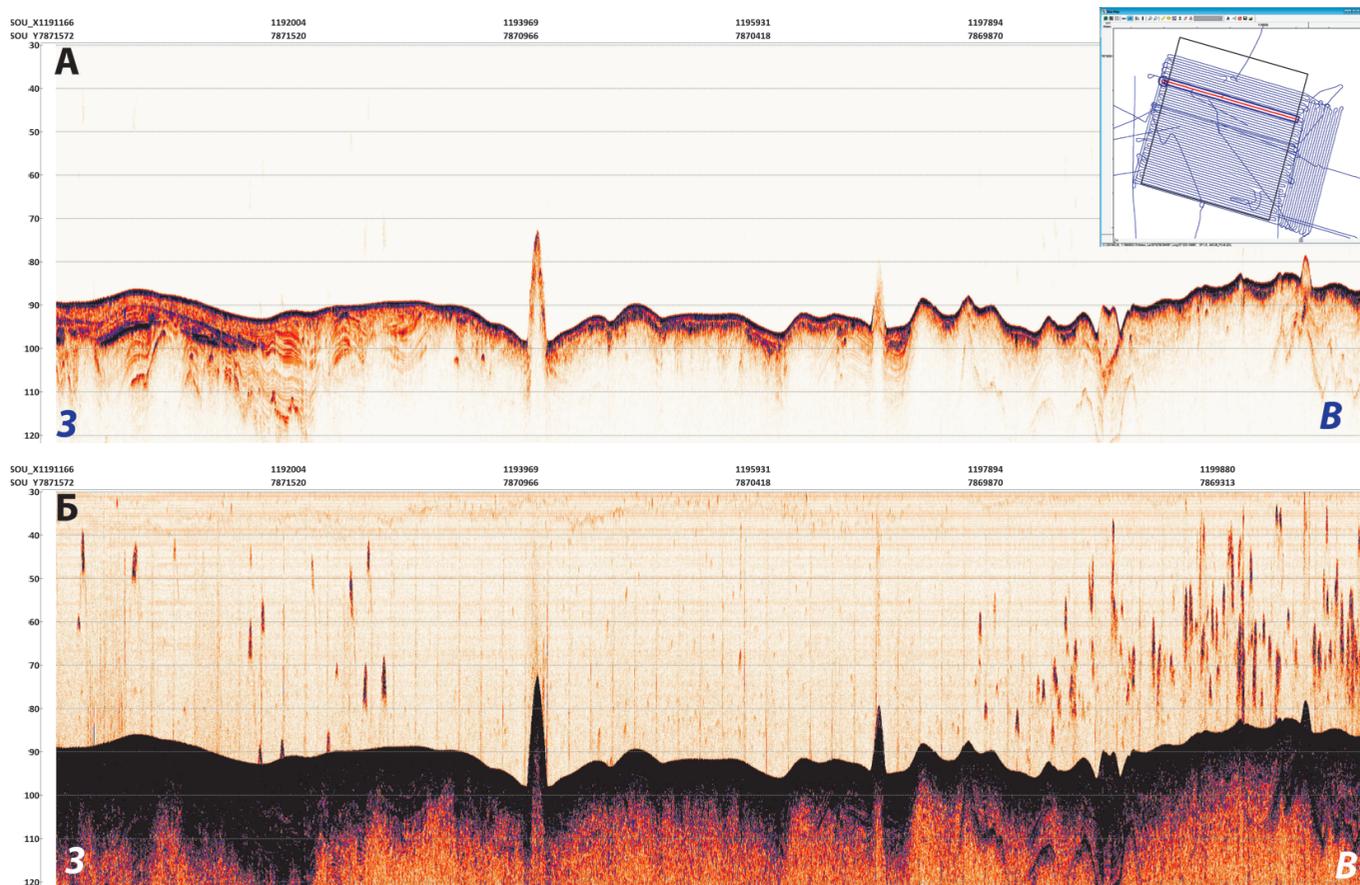


Рис. 4. Разрез ANS38-P3-26, полученный профилографом EdgeTech 3300 в диапазоне частот 2-6 кГц (положение разреза в пределах полигона рис. 2 показано на врезке). По вертикали – миллисекунды от поверхности, по горизонтали – метры UTM37. А – разрез с уровнем усиления в диапазоне донных рефлекторов, Б – разрез с усилением для выделения ЗРО в водной толще.

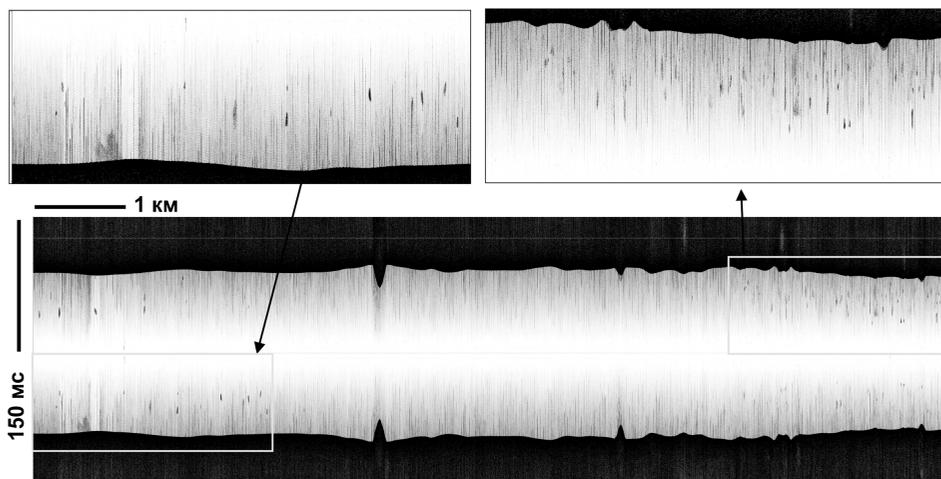


Рис. 5. Разрез ANS38-P3-26 по данным сонарной моды эхолота SeaBat 8111, аналогичной ГБО без применения процедуры устранения водной толщи. На врезках показаны ЗРО в увеличенном виде. Данный разрез содержит помехи от электроискрового источника.

Дегазация в Варандей-Гуляевском тектоническом блоке

Дегазация в Варандей-Гуляевском тектоническом блоке (рис. 2, блок П-4 на топографической основе) (Государственная геологическая карта..., 2013) имеет глубинные корни. На рис. 7 приведен фрагмент разреза ОГТ 078681, в котором на глубинах около 500 мс под подошвой юрско-меловых комплексов выделяется «яркое пятно» с увеличенной амплитудой отрицательной фазы. Это указывает на скопление флюида под рефлексом.

В нескольких местах на этом разрезе и, в частности, на представленном фрагменте между пикетами 150 и 200, над этим рефлексом наблюдаются бугры пучения с видимым падением мгновенной частоты рефлекторов и акустическим осветлением. Они, вероятно, приурочены к местам прорыва флюида к поверхности в область, доступную для картирования высокочастотным профилографом. Эта запись указывает на локальный подъем слабо консолидированных осадков под воздействием газов. Причиной формирования этих структур в том или

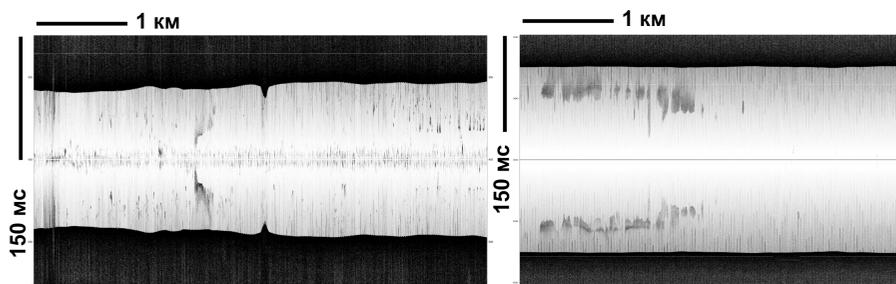


Рис. 6. Примеры данных сонарной моды эхолота SeaBat 8111 из прилегающих к ANS38-P3-26 районов полигона без применения процедуры устранения водной толщи, содержащие корневые и безкорневые ЗРО.

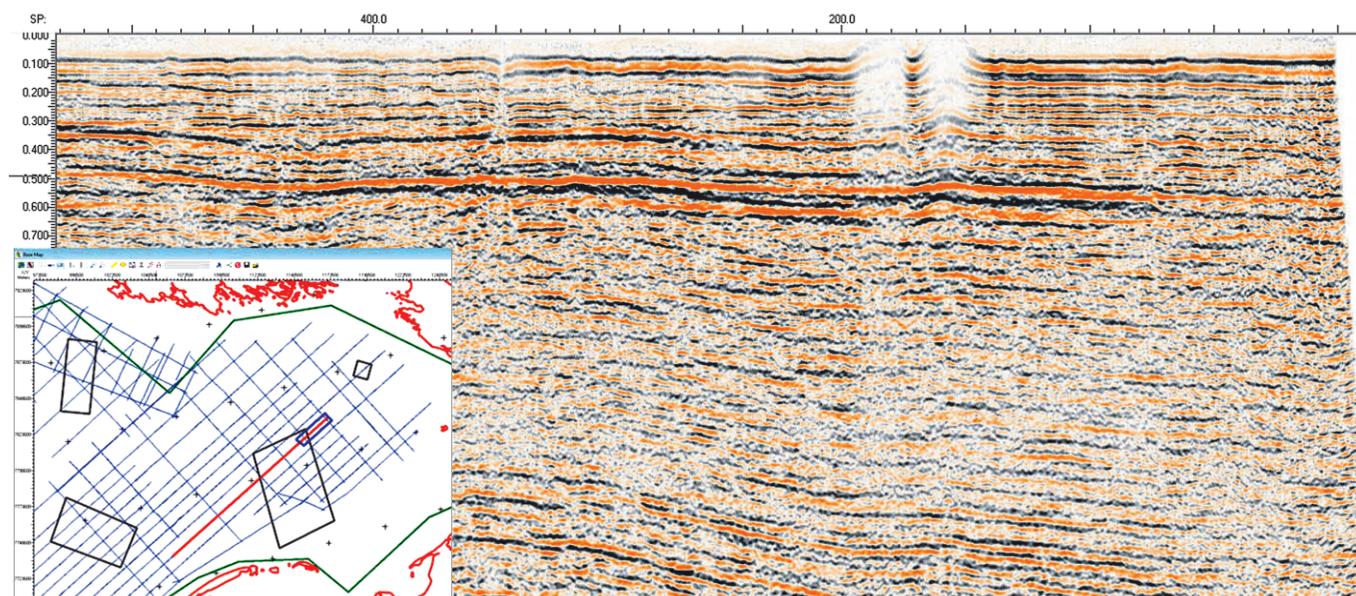


Рис. 7. Фрагмент разреза ОГТ 078681 (положение на врезке). По вертикали – секунды от поверхности, по горизонтали – номер CDP сборки с шагом 50 м.

ином месте являются мелкие локальные неоднородности и тектонические нарушения в юрско-меловых отложениях (горизонт В), либо более глубинные разломы, охватывающие разрез до палеозоя (Казанин и др., 2011).

На фрагменте разреза ANS38-P2-04 (рис. 8), расположенного рядом с разрезом ОГТ 078681, обнаружены редкие проявления акустически стратифицированных отложений с аномалиями «яркое пятно», над разрывами которых вдоль горизонта на глубине около 10 м выделяются корневые ЗРО в водной толще. Наблюдаемая конфигурация ЗРО обладает формой газовых факелов, имеющих в ряде случаев ширину корня около дна до 100 м. Полученная картина волнового поля указывает на интенсивные дегазационные процессы, которые в верхней части разреза формируют газовые шапки, в ослабленных зонах прорывающиеся в водную толщу с формированием характерных ЗРО.

Дегазация в обрамлении Хорейверского блока

Хорейверский блок (рис. 9, индекс П-3 на врезке) к западу переходит в мобильную зону повышенной проницаемости земной коры (Государственная геологическая карта..., 2013), в которой прослеживаются сейсмоакустические записи с признаками дегазации. На границе этого блока с Мурманско-Куренцовским блоком в северо-западной части работ (рис. 1) выделяется депрессия

рельефа дна амплитудой до 20 метров, которая по данным (Крапивнер, 2018, рис. 5.11, с. 184) маркирует палеорусло. Пересечение данной структуры дна приведено на разрезе рис. 9. Непосредственно за пределами зоны особенностью строения осадочного разреза является наличие депрессии, формирование которой привело к наклонному залеганию глинистых осадков, первоначально отлагавшихся горизонтально. На это указывает наличие углового несогласия на восточном борту депрессии. Причиной образования депрессии мог быть импульс интенсивной дегазации, продолжающийся в настоящее время, о чем свидетельствуют «многоэтажные» «яркие пятна», наблюдаемые в разрезе. С другой стороны триггером данного катастрофического процесса могла стать неотектоническая активность с компонентой растяжения, вдоль оси которой было ориентировано палеорусло. Формирование депрессии было поэтапно, так как наблюдается эрозионный срез наклоненных слоев в восточной части, а запечатывающие его осадки в самой депрессии имеют такую же конфигурацию наклона. Адаптировавшееся к депрессии русло привело к накоплению в ее оси горизонтально-слоистой толщи, насыщенной «яркими пятнами».

Отметим, что на разрезе рис. 9 «яркие пятна» расположены либо в центральной части глинистых осадков, либо с углом падения к оси депрессии над кровлей диамиктона, ниже которой волновое поле акустически прозрачно. Это говорит о том, что источником флюида являются

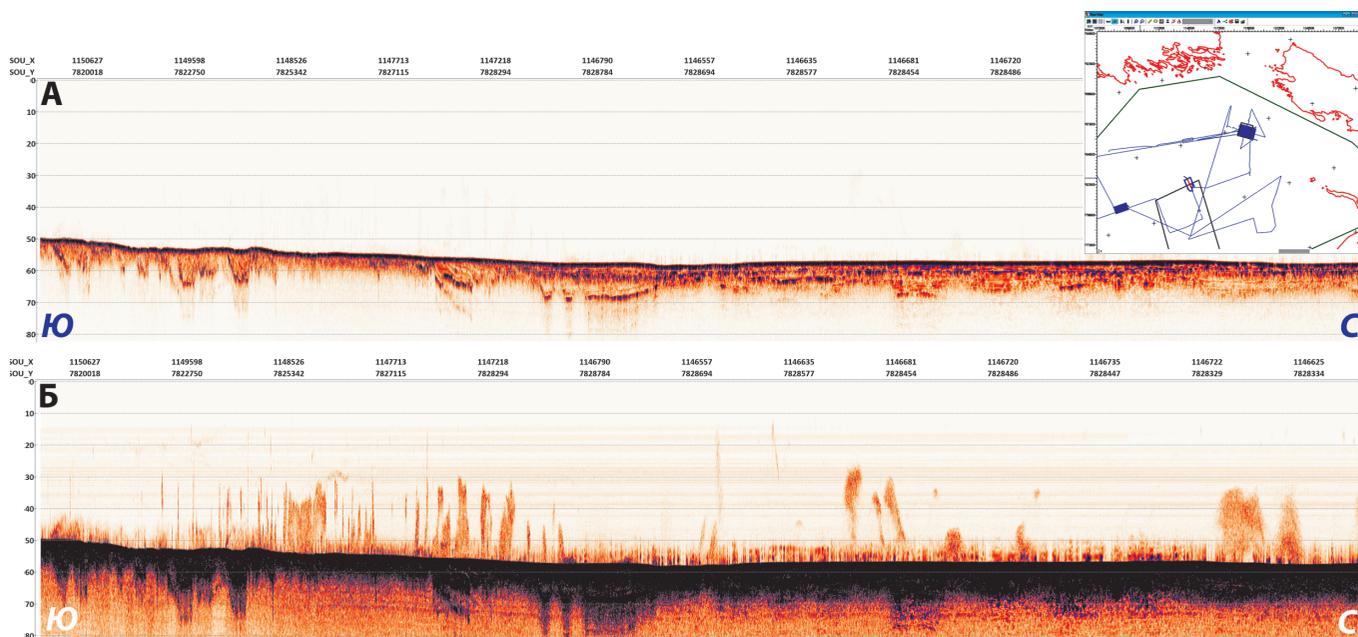


Рис. 8. Фрагмент разреза ANS38-P2-04 (положение разреза показано на врезке). По вертикали – миллисекунды от поверхности, по горизонтали – метры UTM37. А – разрез с уровнем усиления в диапазоне донных рефлекторов, Б – разрез с усилением для выделения ЗРО в водной толще.

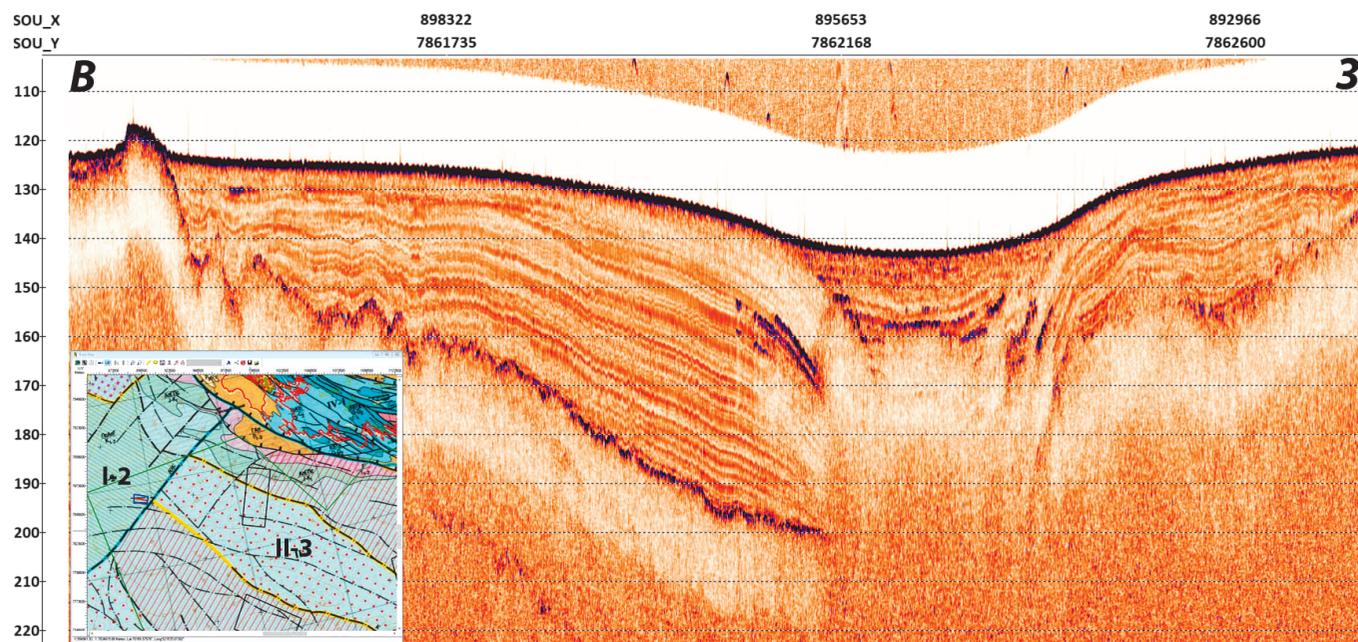


Рис. 9. Фрагмент разреза ANS38-014 (положение разреза показано на врезке). По вертикали – миллисекунды от поверхности, по горизонтали – метры UTM37. Длина окна автоматической регулировки усиления – 40 мс. На врезке в качестве топографической основы использована тектоническая карта из комплекта государственной геологической карты R-39-40 3-го поколения (Государственная геологическая карта..., 2013). I-2 – Мурманско-Куренцовский блок. II-3 – Хорейверский блок.

глубинные осадочные комплексы, прорывы из которых обнаруживаются в местах нарушения целостности четвертичных отложений.

Разрез ANS38-038 (рис. 10), пересекающий согласно тектонической карте (Государственная геологическая карта..., 2013) погребенный разлом, содержит интенсивные аномалии, сформированные свободным газом и имеющие форму «плоских» и «ярких» пятен. Сильная хаотизация всех нижележащих рефлекторов и полная потеря когерентности акустического фундамента, скорее всего, указывает на то, что прорывы флюида идут из более глубоких чем фундамент горизонтов.

Также наблюдается прогибание рефлекторов и формирование характерной депрессии, впоследствии выровненной осадконакоплением. Кроме того, отметим повышенную амплитуду вдоль рефлекторов с наклоном подходящих к депрессии, что указывает на миграцию флюида вверх по пласту. На восточном фланге депрессии сформирована возвышенность, превышающая уровень ненарушенного горизонта. Это указывает на то, что дизъюнктивное нарушение образовалось в условиях сжатия. На западе разреза (рис. 10) отмечены погребенные помарки, под которыми прослеживаются мало контрастные газовые трубы.

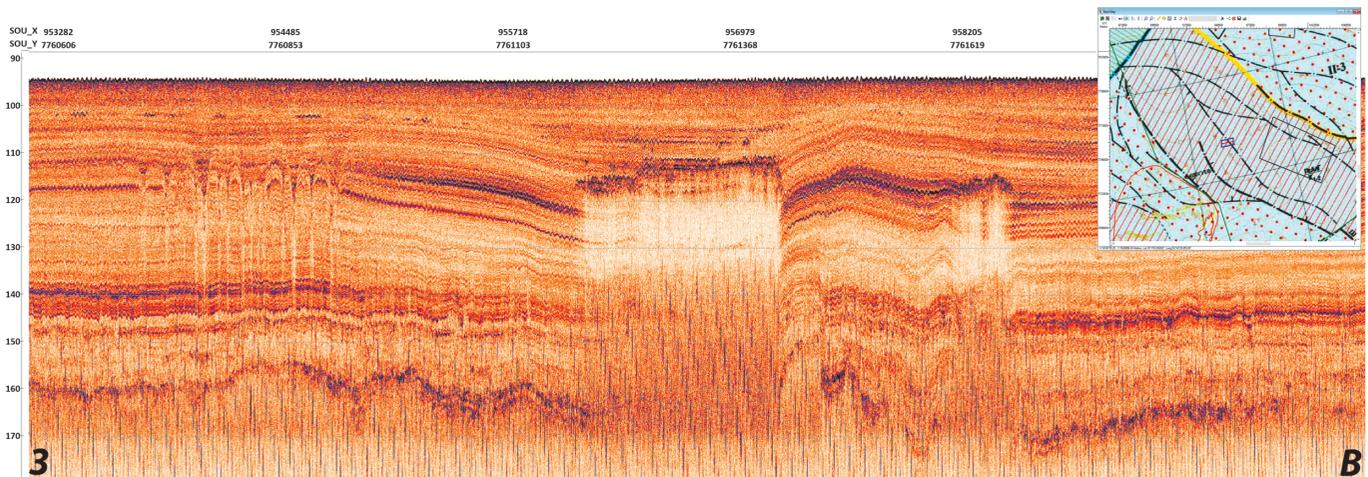


Рис. 10. Фрагмент разреза ANS38-038 (положение разреза показано на врезке). По вертикали – миллисекунды от поверхности, по горизонтали – метры UTM37. На врезке в качестве топографической основы использована тектоническая карта из комплекта государственной геологической карты R-39-40 3-го поколения (Государственная геологическая карта..., 2013). II-3 – Хорейверский блок.

Синтез

Картирование проявлений свободного газа в акустических аномалиях в водной толще и в сейсмоакустических аномалиях в ВЧР образует дополнительный индикатор тектонической активности и каркаса разломной сети. Именно по ним, по-видимому, идет поступление флюидов из глубоких горизонтов, в которых сформированы залежи промышленного значения. Сопоставление сейсмоакустической съемки с данными глубинного МОВ ОГТ показывает, что флюид в ВЧР сначала аккумулируется под подошвой юрско-меловых осадочных комплексов, являющихся флюидоупором, залегающим на более древних эродированных комплексах. Небольшие локальные нарушения флюидоупора приводят в дальнейшем к подъему и перераспределению свободного газа в четвертичных комплексах. Последние характеризуются сильной изменчивостью мощности и литологии, а также содержат мерзлые области, которые наряду с глинистыми отложениями являются флюидоупором. Естественное или искусственное нарушение его целостности приводит к выбросам газа в водную толщу из приповерхностных скоплений в виде «ярких пятен» на записи. Картирование ЗРО в водной толще показывает области дегазации, которые, как правило, расположены над глубинными разломами, смещающими древние комплексы вплоть до палеозойских. Эта разломная сеть также определяет распределение палеорусел в пределах акватории Печорского моря. «Яркие пятна» свободного газа в четвертичном комплексе имеют разнообразную форму, иногда многоярусную, иногда наклоненную, и прорывы газа в водную толщу имеют место, как правило, около краев этих аномалий. Систематическое картирование рассмотренных явлений – ЗРО и «ярких пятен» – является необходимым элементом при подготовке района к промышленной эксплуатации. Особенности методики картирования изменчивых во времени образований ЗРО описаны в (Соколов и др., 2017).

Заключение

Сформулируем краткие выводы.

1. Свободный газ глубинных источников формирует вблизи поверхности дна Печорского моря двухуровневые

скопления – около подошвы юрско-меловых комплексов, залегающих на эродированных более древних комплексах, нарушенных разломной сетью, и в непроницаемых зонах четвертичных отложений.

2. Тектонические, литологические и термические неоднородности четвертичных отложений приводят к выбросу газа в водную толщу и формированию аномальных звукорассеивающих объектов, мониторинг которых показывает состояние проницаемости и активности стратифицированной среды, на которой ведется инженерная деятельность.

3. Сейсмоакустическая запись исследованных явлений дегазации в водной толще имеет конфигурацию корневых звукорассеивающих объектов, а в верхней части разреза – набор «ярких» и «плоских» пятен, имеющих разный наклон, иногда многоярусное строение. Аномалии в водной толще, как правило, сосредоточены около краев аномалий в четвертичных отложениях.

Благодарности/Финансирование

Авторы признательны экипажу НИС «Академик Николай Страхов» за самоотверженную работу в тяжелых Арктических условиях.

Работа и финансирование участия авторов в экспедиции выполнены при поддержке гранта РФФИ № 18-05-70040 «Эволюция литосферы западной Арктики: процессы и механизмы, направленность развития, природные ресурсы и геологические опасности» (рук. С.Ю. Соколов) и государственного задания № 0149-2019-0006 «Геоморфология морского дна, геофизические и биогеохимические характеристики литосферы океанов и морей: геоморфологические особенности рельефа дна Арктического бассейна; геолого-геофизические и биогеохимические исследования осадочной толщи и литосферы Арктического шельфа, переходной зоны от Тихого океана к Евразии, отдельных районов Атлантики и Индийского океана, морей России» (рук. С.Л. Никифоров), оцифровка и интерпретация аномальных объектов в четвертичной толще выполнена частично в рамках темы госзадания № 0135-2019-0069 Геологического института РАН «Опасные геологические процессы в Мировом океане:

связь с геодинамическим состоянием коры и верхней мантии и новейшими движениями» (рук. А.О. Мазарович), оцифровка и интерпретация проявлений дегазации осадочного чехла в водную толщу выполнена частично в рамках Программы Президиума РАН 49 «Взаимодействие физических, химических и биологических процессов в Мировом океане», подпроект «Гидроакустические аномалии водной толщи: связь со строением дна, режимом гидросферы и временными вариациями среды».

Литература

- Богоявленский В.И. (2015). Выбросы газа и нефти на суше и акваториях Арктики и Мирового океана. *Бурение и нефть*, 6, с. 4-10.
- Бондарев В.Н., Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г., Полякова Н.А. (2002). Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря. *Геология и геофизика*, 43(7), с. 587-598.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации. Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. (2013). Масштаб 1:1 000 000 (3-е поколение). Листы R-39, 40, о. Колгуев – прол. Карские Ворота. СПб.: Картофабрика ВСЕГЕИ, 477 с.
- Дунаев Н.Н., Левченко О.В., Мерклин Л.Р., Павлидис Ю.А. (1995). Приноземельский шельф в позднечетвертичное время. *Океанология*, 35(3), с. 440-450.
- Казанин Г.С., Павлов С.П., Шлыкова В.В., Ступакова А.В., Норина Д.А., Сауткин Р.С., Сулова А.А. (2011). Сейсмо-геологическое строение Печорского и юго-восточной части Баренцева морей на основе интерпретации каркасной сети сейсмических профилей МОВ ОГТ 2Д. *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии*, М.: ГЕОС, вып. 3, с. 59-81.
- Костин Д.А., Тарасов Г.А. (2011). Четвертичный осадочный чехол Баренцево-Карского бассейна. *Геология и геоэкология континентальных окраин Евразии*, М.: ГЕОС, вып. 3, с. 107-130.
- Крапивнер Р.Б. (2018). Кризис ледниковой теории: аргументы и факты. М.: ГЕОС, 320 с.
- Левченко О.В., Мерклин Л.Р. (2003). Сейсмостратиграфия. *Печорское море. Системные исследования*. М.: Море, с. 321-354.
- Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г. (2001). Свободный газ и многолетняя мерзлота в осадках верхней части разреза мелководных районов шельфа Печорского и Карского морей. *Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала*. Апатиты: КНЦ РАН, с. 40-51.
- Соборнов К.О. (2018). Раннемезозойские деформации Северной Евразии: геодинамика и нефтегазоносность. *Труды Межд. геолого-геофизической конференции «ГеоЕвразия 2018. Современные методы изучения и освоения недр Евразии»*. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», с. 76-80.

Соколов С.Ю., Мороз Е.А., Абрамова А.С., Зарайская Ю.А., Добролюбова К.О. (2017). Картирование звукорассеивающих объектов в северной части Баренцева моря и их геологическая интерпретация. *Океанология*, 57(4), с. 655-662. <https://doi.org/10.1134/S000143701704018X>

Шипилов Э.В., Шкарубо С.И. (2010). Современные проблемы геологии и тектоники осадочных бассейнов Евразийско-Арктической континентальной окраины. Том. 1. Литолого-сейсмостратиграфические комплексы осадочных бассейнов Баренцево-Карского шельфа. Апатиты: КНЦ РАН, 266 с.

Solheim A., Musatov E., Heintz N. (1998). Geological aspects of Franz Josef Land and the northernmost Barentz Sea. *Meddelelser*, no. 151. Oslo: Norsk Polarinstittutt, 120 p.

Сведения об авторах

Сергей Юрьевич Соколов – канд. физ.-мат. наук, заведующий лабораторией геоморфологии и тектоники дна океанов, Геологический институт РАН

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

E-mail: sysokolov@yandex.ru

Евгений Андреевич Мороз – канд. геол.-мин. наук, старший научный сотрудник лаборатории геоморфологии и тектоники дна океанов, Геологический институт РАН

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Елена Александровна Сухих – научный сотрудник лаборатории тепломассопереноса, Геологический институт РАН

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Анатолий Анатольевич Разумовский – научный сотрудник лаборатории геологии складчатых поясов, Геологический институт РАН

Россия, 119017, Москва, Пыжевский пер., д. 7

Олег Всеволодович Левченко – канд. геол.-мин. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории сейсмостратиграфии, Институт океанологии РАН

Россия, 117997, Москва, Нахимовский проспект, д. 36

Статья поступила в редакцию 25.03.2019;

Принята к публикации 26.07.2019; Опубликована 01.12.2019

IN ENGLISH

Manifestations of deep degassing into the water column and upper part of the Pechora sea sedimentary section

S.Yu. Sokolov^{1*}, E.A. Moroz¹, E.A. Sukhikh¹, A.A. Razumovskiy¹, O.V. Levchenko²

¹Geological Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

²Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

*Corresponding author: Sergey Yu. Sokolov, e-mail: sysokolov@yandex.ru

Abstract. Studies of acoustic anomalies in the water column and seismoacoustic anomalies in the Quaternary sediments of Pechora sea and their relationship with deep hydrocarbon sources were conducted by the Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences and the Geological Institute of the Russian Academy of Sciences in the 38th cruise of RV “Academik Nikolaj Strakhov” in 2018. Mapping of free gas manifestations presents an additional indicator of tectonic activity and the fault network frame, which provides the flow of fluids from deep horizons. Comparison of high-resolution seismic survey data with deep seismic survey data shows that the fluid in the upper

part of the section is first accumulated under the bottom of Jurassic-Cretaceous sedimentary sequences, which are fluid-resistant. Local dislocations of fluid trap lead to further rise and redistribution of free gas in Quaternary sequences. Natural or artificial break of their integrity results in the release of gas into the water column from near-surface accumulations that were found in the form of “bright spot” anomalies on seismic-acoustic records. Mapping of sound scattering objects in the water column shows the degassing areas, which are usually located above the deep faults. “Bright spots” of free gas in the Quaternary sequences have a variety of shapes – multi-tiered and inclined. Gas breaks into the water column

occur near the edges of these anomalies. Systematic mapping of the considered phenomena is a necessary element in the preparation of the area for industrial operation.

Keywords: sound scattering objects, seismic acoustic, faults, degassing, bright spot

Recommended citation: Sokolov S.Yu., Moroz E.A., Sukhikh E.A., Razumovskiy A.A., Levchenko O.V. (2019). Manifestations of deep degassing into the water column and upper part of the Pechora sea sedimentary section. *Georesursy = Georesources*, 21(4), pp. 68-76. DOI: <https://doi.org/10.18599/grs.2019.4.68-76>

References

- Bogoyavlensky V. I. (2015). Emissions of gas and oil on land and waters of the Arctic and the oceans. *Burenie i nefi* [Drilling and Oil], 6, pp. 4-10. (In Russ.)
- Bondarev V. N., Rokos S. I., Kostin D. A., Dlugach A. G., Polyakova N. (2002). Frozen gas accumulations in the upper part of the sedimentary cover of the Pechora sea. *Russian Geology and Geophysics*, 43(7), pp. 587-598. (In Russ.)
- Dunaev N. N., Levchenko O. V., Merklin L. R., Pavlidis, Y. A. (1995). Prinovozemelsky shelf in late Quaternary time. *Oceanology*, 35(3), pp. 440-450. (In Russ.)
- Kazanin G. S., Pavlov S. P., Shlykov V. V., Stoupakova A. V., Norina D. A., Sautkin, R. S., Suslov A. A. (2011). Seismic-geological structure of the Pechora and South-Eastern part of the Barents seas based on the interpretation of the frame network of seismic profiles of the CDP 2D. *Geology and Geoecology of the continental margins of Eurasia*. Moscow: GEOS, vol. 3, pp. 59-81. (In Russ.)
- Kostin D. A., Tarasov G. A. (2011). Quaternary sedimentary cover of the Barents-Kara basin. *Geology and Geoecology of the continental margins of Eurasia*. Moscow: GEOS, vol. 3, pp. 107-130. (In Russ.)
- Krapivner R. B. (2018). The crisis of the glacial theory: arguments and facts. Moscow: GEOS, 320 p. (In Russ.)
- Levchenko O. V., Merklin L. R. (2003). Seismic stratigraphy. Pechora sea. System research. Moscow: MORE, pp. 321-354. (In Russ.)
- Rokos S. I., Kostin D. A., Dlugach A. G. (2001). Free gas and permafrost in the sediments of the upper section of the shallow shelf areas of the Pechora and Kara seas. *Sedimentological processes and evolution of marine ecosystems in conditions of marine periglacial*. Appatity: KNC RAS, pp. 40-51. (In Russ.)
- Shipilov E.V., Shkarubo S.I. (2010). Modern problems of Geology and tectonics of sedimentary basins of the Eurasian-Arctic continental margin. V. 1. *Lithological and seismostratigraphic sequences of sedimentary basins of the Barents-Kara shelf*. Appatity: KNC RAS, 266 p. (In Russ.)
- Sobornov K. O. (2018). Early Mesozoic deformations of Northern Eurasia: geodynamics and oil and gas potential. *Proceedings of the International geological and geophysical conference "GeoEurasia 2018. Modern methods of study and exploration of Eurasia"*. Tver: Polipress, pp. 76-80. (In Russ.)

Sokolov S. Yu., Moroz E. A., Abramova A. S., Zaraiskaya Yu. A., Dobrolyubova K. O. (2017). Mapping of sound scattering objects in the Northern part of the Barents sea and their geological interpretation. *Oceanology*, 57(4), pp. 655-662. (In Russ.) <https://doi.org/10.1134/S000143701704018X>

Solheim A., Musatov E., Heintz N. (1998). Geological aspects of Franz Josef Land and the northernmost Barentz Sea. *Meddelelser*, no. 151. Oslo: Norsk Polarinstitut, 120 p.

State geological map of the Russian Federation. Series North-Kara-Barents Sea. (2013). Scale 1:1,000,000 (third generation). Sheets R-39,40. Kolguev Island—Prol. the Karsky Vorota. St.Petersburg: Cartfabrika VSEGEI, 477 p. (In Russ.)

About the Authors

Sergey Yu. Sokolov – PhD (Physics and Mathematics), Head of the Laboratory of Ocean Floor Geomorphology and Tectonics

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation
E-mail: sysokolov@yandex.ru

Evgeniy A. Moroz – PhD (Geology and Mineralogy), Senior Researcher, Laboratory of Ocean Floor Geomorphology and Tectonics

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation

Elena A. Sukhikh – Researcher, Heat and Mass Transfer Laboratory

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation

Anatoliy A. Razumovskiy – Researcher, Laboratory of Folded Belt Geology

Geological Institute of the Russian Academy of Sciences
7, Pyzhevsky lane, Moscow, 119017, Russian Federation

Oleg V. Levchenko – PhD (Geology and Mineralogy), Leading Researcher, Laboratory of Seismostratigraphy
Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences

36, Nakhimovsky ave., Moscow, 117997, Russian Federation

Manuscript received 25 March 2019;

Accepted 26 July 2019;

Published 1 December 2019