

КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ
И ПОБЕРЕЖЬЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ

УДК 551.345

РАСПРОСТРАНЕНИЕ СУБАКВАЛЬНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД
НА ШЕЛЬФЕ КАРСКОГО МОРЯ

П.В. Рекант, А.А. Васильев*

ВНИИОкеангеология, 190121, Санкт-Петербург, Английский пр., 1, Россия, rekant@mail.ru

*Институт криосферы Земли СО РАН, 625026, Тюмень, ул. Малыгина, 86, Россия

Рассмотрены проблемы идентификации субаквальных многолетнемерзлых пород на шельфе Карского моря на основе выделения в сейсмоакустическом разрезе сейсмоакустических маркеров. По сейсмоакустическим данным, наличие субаквальных многолетнемерзлых пород установлено на юго-востоке Карского моря и ямальском шельфе до глубины 120 м. Предполагаемые маркеры присутствия субаквальных многолетнемерзлых пород в разрезе также обнаружены в районе североземельского порога в пределах локальных возвышенностей, окруженных 100–120-метровыми изобатами. Существование мерзлых отложений на больших глубинах, скорее всего, является исключением и может быть объяснено нисходящими неотектоническими движениями. Составлена ГИС-ориентированная карта распространения субаквальных многолетнемерзлых пород Карского моря и разработана соответствующая база данных по условиям их залегания. Установлено, что кровля субаквальных многолетнемерзлых пород залегает на глубине 5–60 м ниже поверхности морского дна. Статистическая обработка данных показала, что максимум встречаемости (47 %) приходится на глубину залегания кровли 10–20 м от поверхности дна. Высказано предположение о парагенетической связи структур газового сиппинга и субаквальных многолетнемерзлых пород.

ВВЕДЕНИЕ

Субаквальные многолетнемерзлые породы (СММП) представляют собой реликтовые мерзлые толщи, сформированные в субаэральных условиях во время последнего криохрона (20–18 тыс. лет назад) и затопленные впоследствии в ходе последней трансгрессии (16–5 тыс. лет назад). После перехода в субаквальное состояние толща многолетнемерзлых пород частично протаяла сверху и снизу, при этом засоленные породы частично перешли в охлажденное состояние. Сформировался современный облик СММП.

Распространение и строение СММП на шельфе Карского моря изучено недостаточно. Основные представления получены на базе результатов инженерно-геологического бурения в прибрежных районах [Рокос и др., 2001; Рокос, Тарасов, 2007].

Несмотря на наличие ряда публикаций, достоверные границы распространения и условия залегания СММП до сих пор не установлены ввиду отсутствия прямой геологической информации [Мельников, Спесивцев, 1995]. Поэтому на большинстве геокриологических карт границы распространения СММП проведены на основе экспертных оценок, а сами оценки применимы только к картам мелкого масштаба [Рокос и др., 2001; Рокос, Тарасов, 2007].

МЕТОДИКА

В условиях недостаточности прямой геологической информации для межскважинной корреляции используются высокоразрешающие сейсмоакустические методы (ВСМ). Современный уровень развития аппаратной, программной и методической базы позволяет использовать результаты интерпретации сейсмических данных как самостоятельный источник геологической информации. Применение методики сейсмофациального анализа дает возможность извлекать из сейсмического волнового поля информацию о внутреннем геологическом строении изучаемых толщ до глубины 60–70 м, в том числе о наличии в разрезе многолетнемерзлых пород [Шлезингер, 1998; Рокос и др., 2001; Рокос, Тарасов, 2007]. В первом приближении сейсмоакустический разрез можно рассматривать как аналог геологического разреза, а сейсмокомплексы и сеймопачки, выделяемые на сеймограммах, могут быть сопоставлены с реальными геологическими телами, например, толщами, свитами, горизонтами. При этом наличие в сейсмическом разрезе ненарушенных стратифицированных отложений свидетельствует об отсутствии СММП в изученной части геологического разреза (рис. 1, А).

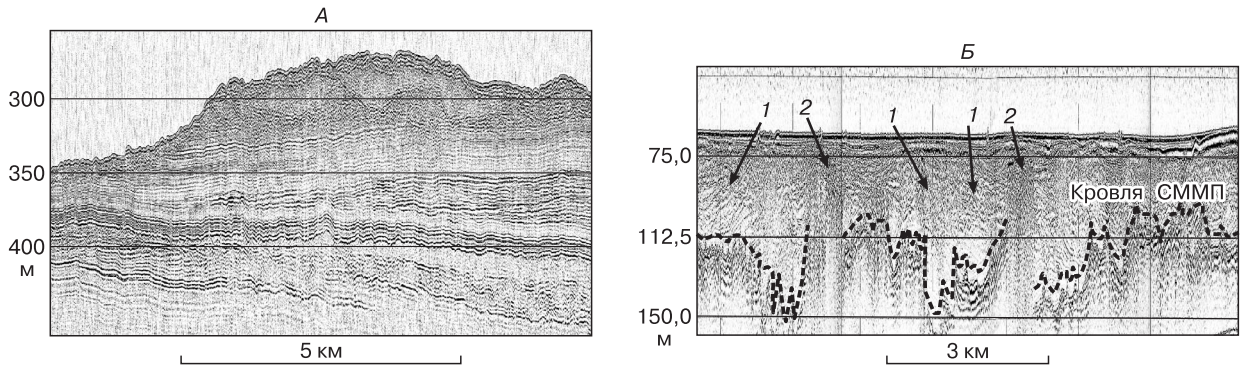


Рис. 1. Фрагменты сейсмоакустических профилей в Карском море:

А – типичная волновая картина разреза отложений, не содержащих субаквальных многолетнемерзлых пород; Б – волновая картина, характерная для районов развития субаквальных многолетнемерзлых пород; 1 – участки распространения криодеформаций надмерзлотных отложений; 2 – структуры газового сиппинга, проявляющиеся в виде вертикальных зон потери корреляции.

Факторами, серьезно осложняющими сейсмическую волновую картину в данном регионе, являются в первую очередь криогенные и посткриогенные изменения структуры осадка, а также структуры, связанные с присутствием свободного газа в разрезе. Совокупность этих факторов при-

водит к формированию весьма сложной волновой картины, что сильно затрудняет интерпретацию (см. рис. 1, Б).

Как было показано на примере шельфов Печорского моря и моря Лаптевых [Рекант и др., 2009], идентификация СММП в сейсмическом

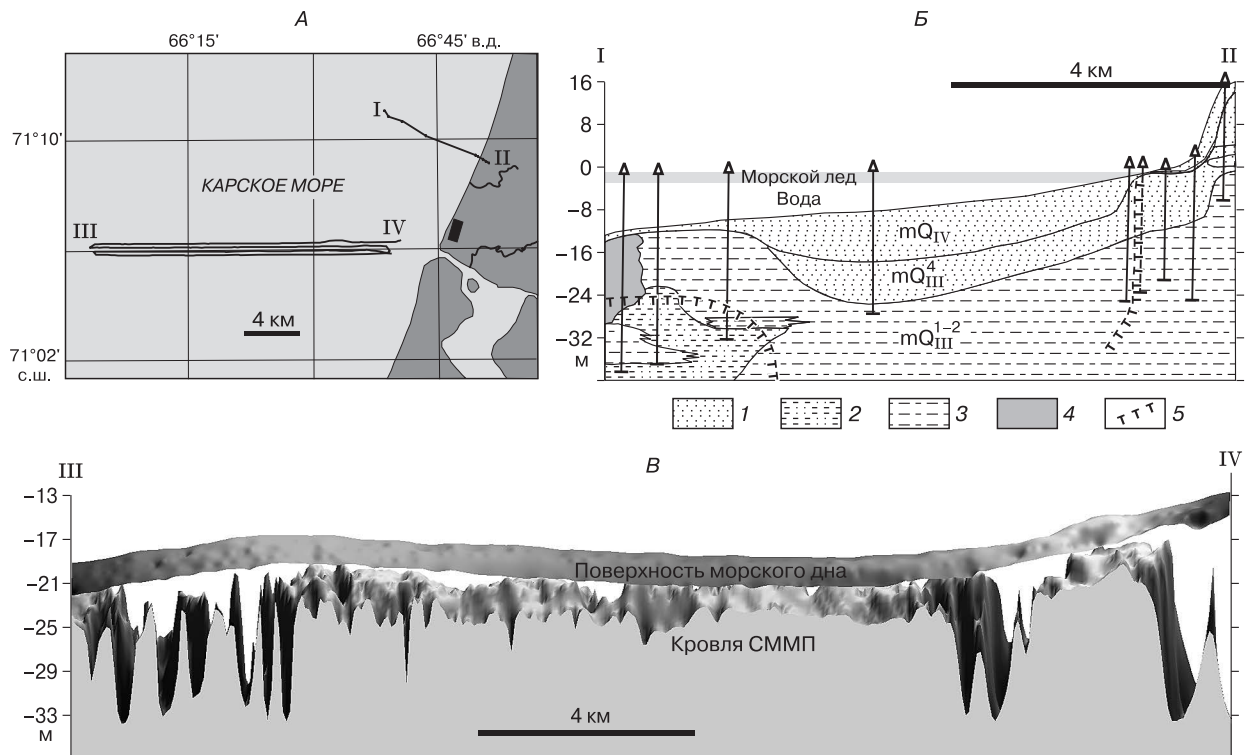


Рис. 2. Сравнение результатов интерпретации сейсмоакустических данных и результатов бурения в районе мыса Харасавей.

А – схема расположения сейсмоакустических профилей и бурового профиля; Б – буровой профиль по линии I–II [Мельников, Спесивцев, 1995]; 1 – пески; 2 – алевриты; 3 – алевропелиты; 4 – глины; 5 – кровля ММП; В – фрагмент 3D модели положения кровли субаквальных многолетнемерзлых пород по линии III–IV, построенной по результатам интерпретации сейсмоакустических данных.

разрезе основывается на выделении высокоамплитудных отражений – сейсмоакустических маркеров, обладающих отчетливыми постседиментационными характеристиками (см. рис. 1, Б). Обычно кровля СММП сопоставляется в сейсмическом разрезе с ярким сейсмическим отражением прямой полярности, которое возникает за счет скачкообразного увеличения скорости распространения звуковой волны в толще мерзлых пород.

Наличие в разрезе даже небольших содержаний свободного газа приводит к формированию в волновом поле разнообразных помех: ярких пятен и обширных зон потери корреляции (см. рис. 1, Б). Подобные сейсмические объекты получили название структур газового сиппинга (СГС) и могут иметь парагенетическую связь с СММП [Рокос и др., 2001; Рокос, Тарасов, 2007], в частности контролироваться таликовыми зонами [Рокос и др., 2001; Рекант и др., 2009].

Полученные результаты хорошо коррелируют с буровыми данными по району. Большинство буровых профилей на прибрежном мелководье Западного Ямала, например, в районе мыса Харасавей, демонстрируют резкое погружение кровли СММП в полосе, располагающейся между урезом воды и примерно 5–7-метровой изобатой. Глубина протаивания мерзлых пород здесь может достигать 40 м и более. Результаты интерпретации сейсмоакустических данных показывают похожую картину (рис. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В результате интерпретации сейсмоакустических профилей погонной длиной более 100 тыс. км установлено несколько участков уверенного прослеживания сейсмоакустических маркеров СММП, а также области предполагаемого их развития (рис. 3). Наиболее точно сейсмоакустические маркеры СММП фиксируются в широкой прибрежной полосе южной части Карского моря и западной части ямальского шельфа. Неуверенно подобные маркеры зафиксированы в пределах локальных поднятий центральной и северо-восточной частей шельфа. Главным фактором, контролирующим распространение субаквальной криолитозоны, является современная глубина морского бассейна. Основная масса сейсмических маркеров находится в пределах областей с современными глубинами, не превышающими 100–120 м.

Многолетнемерзлые породы на современных глубинах более 120 м не установлены, за исключением участков устойчивых нисходящих неотектонических движений.

Особый интерес представляют области распространения СГС. Анализ полученного материала показывает, что в подавляющем большинстве

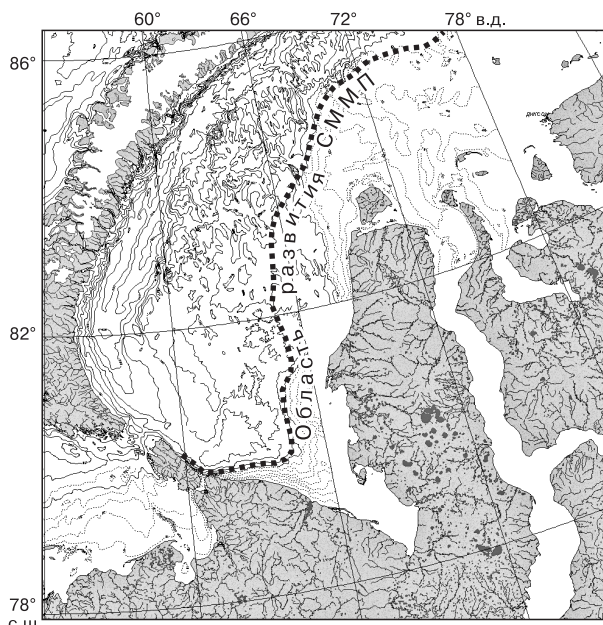


Рис. 3. Карта распространения субаквальных многолетнемерзлых пород Карского моря, построенная по результатам интерпретации сейсмоакустических профилей.

газовые проявления либо непосредственно приурочены к областям развития СММП, либо располагаются внутри области их возможного развития. Это позволяет косвенно подтвердить их парагенетическую связь с СММП. Возможно, СГС развиты в районах глубокого залегания СММП и образованы за счет газа, выделяющегося при деградации СММП.

Кровля СММП залегает на глубине 5–60 м ниже поверхности морского дна. Статистическая обработка данных показала, что встречаемость глубин залегания кровли СММП, по крайней мере, в юго-западной части Карского моря и на ямальском шельфе близка к нормальному закону распределения. При этом максимум встречаемости (47 %) приходится на глубину залегания кровли СММП, равную 10–20 м от поверхности дна. Анализ статистических связей глубин залегания кровли СММП и моря позволил установить, что прямая связь прослеживается только при глубине моря более 40 м. Это может быть связано с высокой скоростью подъема уровня моря, начиная с глубин 40 м до современного уровня.

ВЫВОДЫ

Акустические маркеры наличия СММП достоверно идентифицируются на юго-востоке Карского моря и ямальском шельфе до глубины 120 м. Предполагаемые маркеры присутствия СММП в

разрезах также обнаружены в районе североземельского порога в пределах локальных возвышенностей, окруженных 100–120-метровыми изобатами. Существование мерзлых отложений на больших глубинах является исключением и может быть объяснено нисходящими неотектоническими движениями.

Кровля СММП залегает на глубинах 5–60 м от поверхности морского дна. Глубина залегания кровли СММП подчиняется нормальному закону распределения, наибольшая встречаемость глубины залегания кровли СММП составляет 10–20 м от поверхности дна.

Установлена связь глубин залегания кровли СММП и моря при глубинах моря более 40 м. При меньших глубинах такой связи не прослеживается. Это может быть объяснено быстрым подъемом уровня моря от глубин 40 м до современного уровня.

Составлена ГИС-ориентированная карта распространения СММП и разработана соответствующая база данных по условиям залегания СММП Карского моря.

Прослеживается парагенетическая связь структур газового сиппинга и СММП. Сиппинг-индикаторы могут быть использованы как до-

полнительный фактор для выявления вероятных районов глубокого залегания кровли СММП.

Литература

Мельников В.П., Спесивцев В.И. Инженерно-геологические и геокриологические условия шельфа Баренцева и Карского морей. Новосибирск, Наука, 1995, 198 с.

Рекант П.В., Гусев Е.А., Тумской В.Е. и др. Распространение и особенности залегания субаквальной криолитозоны в районе банок Семеновская и Васильевская (море Лаптевых) по данным сейсмоакустического профилирования // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М., Изд-во Моск. ун-та, 2009, с. 332–348.

Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г. 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 океанического перегляциала. Апатиты, КНЦ РАН, 2001, кн. 1, с. 40–51.

Рокос С.И., Тарасов Г.А. Газонасыщенные осадки губ и заливов южной части Карского моря // Бюл. Комиссии по изучению четвертич. периода, 2007, № 67, с. 66–75.

Шлезингер А.Е. Региональная сеймостратиграфия. М., Науч. мир, 1998, 379 с.

*Поступила в редакцию
10 февраля 2011 г.*