

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-95-103



## МОРФОЛОГИЯ ПОКМАРОК ЮЖНОЙ И СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТЕЙ БАРЕНЦЕВОМОРСКОГО ШЕЛЬФА

✉ Денисова А.П.<sup>1</sup>, Мороз Е.А.<sup>1</sup>, Еременко Е.А.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт РАН, Москва, Россия

<sup>2</sup> Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

✉ [anden6900@gmail.com](mailto:anden6900@gmail.com)

По результатам экспедиционных исследований в 38, 52, 56 рейсах НИС «Академик Николай Страхов» и 51 рейсе НИС «Академик Борис Петров» было проведено детальное изучение морфологии покмарок на пяти полигонах в пределах южной и северо-восточной частей шельфа Баренцева моря. На участках детального исследования обнаружено более 2000 покмарок, для которых была проанализирована связь плановых размеров, глубины и формы поперечного профиля с геолого-географическими условиями территории. Выявлено, что наиболее крупные формы с более пологим поперечным профилем обычно приурочены к участкам распространения с поверхности супесчаных отложений, в то время как мелкие покмарки с V-образным профилем приурочены к ареалам развития более плотных глинистых осадков. Установлено, что наиболее глубокие покмарки встречаются на участках, которые в недавнем прошлом были покрыты ледниковыми покровами, что может быть связано с активной дегазацией после снятия ледниковой нагрузки. Дальнейшее изменение морфологии покмарок происходит под воздействием современных экзогенных процессов, в первую очередь, придонных течений и смещения материала по склонам. Установлена приуроченность участков с повышенной плотностью покмарок к тектоническим нарушениям, служащим путями миграции флюидов глубинного происхождения к поверхности дна, которая проявляется, в том числе, во взаимном расположении данных форм.

Ключевые слова: *дегазация, флюидогенный рельеф, многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование, морфометрический анализ*

**Введение.** В шельфовых зонах морей Мирового океана широкое распространение имеет процесс дегазации – подъем флюидов через осадочный чехол к поверхности дна и в водную толщу [Judd, Hovland, 2007]. Участвующие в этом процессе газы имеют различную природу: выделяются газы неорганического и органического происхождения, а также специфического – газогидратного [Judd, Hovland, 2007]. Среди газов органического происхождения наиболее распространенным является метан, что было продемонстрировано геохимическими исследованиями в акваториях Мирового океана [Рокос, 2009; Шнюков, Топачевский, 2019]. Именно метан глубинного происхождения, источником которого выступают, как правило, юрские и меловые осадочные породы, является ключевой составляющей дегазации в шельфовой зоне Баренцева моря [Ступакова, 2011; Соколов и др., 2021].

Дегазация является не только геологическим, но и геоморфологическим процессом, проявляющимся в рельефе дна в виде флюидогенных форм. Наиболее часто встречаются изометричные блюдцеобразные понижения – покмарки (rockmarks), созданные прорывом газов через толщу донных осадков [Judd, Hovland, 2007; Миронюк, Росляков, 2019; Шнюков, Топачевский, 2019]. Впервые покмарки были обнаружены в результате батиметрической съемки с применением гидролокатора бокового обзора на шельфе Атлантического океана у побережья Новой Шотландии [King, McLean, 1970]. В дальнейшем области распространения покмарок были выявлены и в других акваториях Мирового океана. Крупные скопления покмарок обнаружены вдоль северной части восточного побережья Северной Америки, например, на дне залива Белфаст выявлено более 2300 покмарок с общей площадью более 32 км<sup>2</sup> [Andrews et al., 2010]. Еще одним районом развития покмарок является акватория Северного моря, где обнаруженные формы имеют чрезвычайно большой диапазон размеров: в Норвежской части акватории

Северного моря фиксируются малые покмарки с диаметром от первых метров до 40 м при глубине 1-2 м, однако, в Британской части акватории были обнаружены гигантские покмарки с диаметром около 900 м при глубине до 22 м [Judd, Hovland, 2007]. Широкое распространение эти формы имеют в акватории Норвежского моря (здесь покмарки имеют диаметр до 150 м при глубине до 10 м), Балтийского моря (диаметр до первых сотен метров), в Бискайском заливе, а также центральной и западной частях Средиземного моря [Шнюков, Топачевский, 2019], в акватории Черного моря [Рыбак, Ступина, 2019]. Также области распространения покмарок были обнаружены у побережья Африки в акватории Гвинейского залива, формы расположены на глубине моря от 500 до 1500 м и имеют диаметр от 20 до 100 м при относительной глубине в пределах 5 м [Judd, Hovland, 2007]. На шельфе моря Бофорта покмарки были зафиксированы в прибрежной части шельфа на глубинах 10 м и менее. Эти формы имеют очень малый диаметр (не более 15 м), однако, их глубина при этом достигает 3-4 м. Более крупные формы в море Бофорта были выявлены в прибрежной части шельфа, их диаметр составляет 20-30 м, а глубина достигает 2-3 м [Blasco et al., 2013]. В акваториях морей Российской Арктики покмарки также имеют широкое распространение, при этом формы фиксируются как на участках, охваченных позднечетвертичным ледниковым покровом, так и в районах перегляциального шельфа с развитой толщей многолетнемерзлых пород. Например, в акватории Карского моря, покмарки в большинстве своем имеют средние размеры, в районе нефтегазоносной структуры Университетская, характерен их средний диаметр составляет 30-50 м и глубина в пределах 3-4 м. В море Лаптевых покмарки были обнаружены в пределах сейсмически активных структур в центральной части моря. Эти формы имеют небольшие размеры: диаметр порядка 25-40 м и глубина до 2 м. Выявленные одиночные и собранные в скопления покмарки имеют разнообразные очертания в плане (встречаются как изометричные, так и вытянутые формы) [Миронюк, Росляков, 2019]. В Чукотском море покмарки были обнаружены в южной части Чукотского плато на глубине моря 400-600 м. Эти формы имеют достаточно большие размеры, сопоставимые с таковыми у гигантских покмарок Северного моря, их диаметр достигает 850 м, а глубина – 40-50 м [Логвина и др., 2011]; в Восточно-Сибирском море были обнаружены многочисленные кратерообразные формы диаметром до 1,5-2 км и глубиной до 20 м, однако, под большей частью этих углублений отсутствуют признаки газонасыщения и тектонические нарушения, что не позволяет сделать однозначный вывод о флюидогенном происхождении данных форм [Кохан и др., 2023].

В Баренцевом море покмарки развиты практически повсеместно, однако, плотность их распространения изменяется в очень широких пределах. Участки с наиболее высокой плотностью покмарок выявлены в районе Мурманской банки, где достигает 300-350 шт/км<sup>2</sup> – формы занимают до 70-75% площади дна [Миронюк, Семенова, 2017]. Ключевую роль в повышении плотности покмарок играет наличие газоподводящих каналов, разломов, нефтегазоносных структур, а также неглубокое залегание коренных пород с коллекторскими свойствами [Миронюк, Росляков, 2019, Мороз и др., 2023, Соколов и др., 2023]. Аналогично с неравномерным распределением покмарок и плотностью их размещения отмечается большая дифференциация их морфометрических параметров.

Целью выполненных работ являлось выявление флюидогенных форм рельефа Баренцевоморского шельфа, составление их морфологической характеристики и выявление связи между морфометрическими параметрами покмарок и основными геолого-географическими условиями акватории.

Экспедиционные материалы для исследования флюидогенного рельефа на шельфе Баренцева моря были собраны в рамках комплексных геолого-геофизических работ в ходе 38, 52, 56 рейсов НИС «Академик Николай Страхов» и 51 рейса НИС «Академик Борис Петров». Эти работы включали в себя батиметрическую съемку с использованием гидроакустического комплекса RESONSeabat (эхолот Т-50R, система спутникового позиционирования, датчик движения и гироскоп Octans, стационарный датчик скорости

звука в воде SVP 70), а также акустическое профилирование с применением непараметрического профилографа EdgeTech 3300 (частота излучающего сигнала 2-12 кГц и длина импульса 20 мс) и параметрический профилограф Parasound P35 (съемка проводилась с частотой 2,5 кГц для осадочной толщи и 21 кГц для водной толщи). Для обработки материалов батиметрической съемки применялся программный пакет PDS2000, материалов сейсмических данных – KingdomSoftware 8.3.

По геофизическим данным для 5 полигонов детального исследования было проведено дешифрирование покмарок (рис. 1А). Для этого по цифровым моделям рельефа дна проводилось построение изогипс с шагом 0,1 м с целью обнаружения участков их сгущения. По внешним контурам этих участков проводились границы полигонов, соответствующих отдельным флюидогенным формам. Далее для каждой покмарки извлекались основные морфологические пространственные характеристики (табл. 1). Большинство параметров было извлечено из шейп-файлов, содержащих выявленные флюидогенные формы в виде полигональных объектов, с использованием встроенных инструментов программного пакета ArcGIS 10.6 (Minimum Bounding Geometry и Zonal Statistic), форма профиля, асимметрия склонов и наличие признаков смещения осадка определялись путем построения профилей по ЦМР в ПО GlobalMapper (рис. 1Б). Оценка плотности расположения покмарок на полигонах была проведена при помощи инструмента Kernel Density в ПО ArcGIS. Для анализа взаимосвязи состава и генезиса четвертичных отложений с глубиной, площадью и формой профиля покмарок применялся инструмент Overlay (Intersect), который позволил соотнести каждую из покмарок с данными ранее оцифрованных карт ГТК третьего поколения в масштабе 1:1000000 [Костин, Орго, 2013; Пенедюк, 2013; Гусев, Костин, 2014; Радченко, 2014].

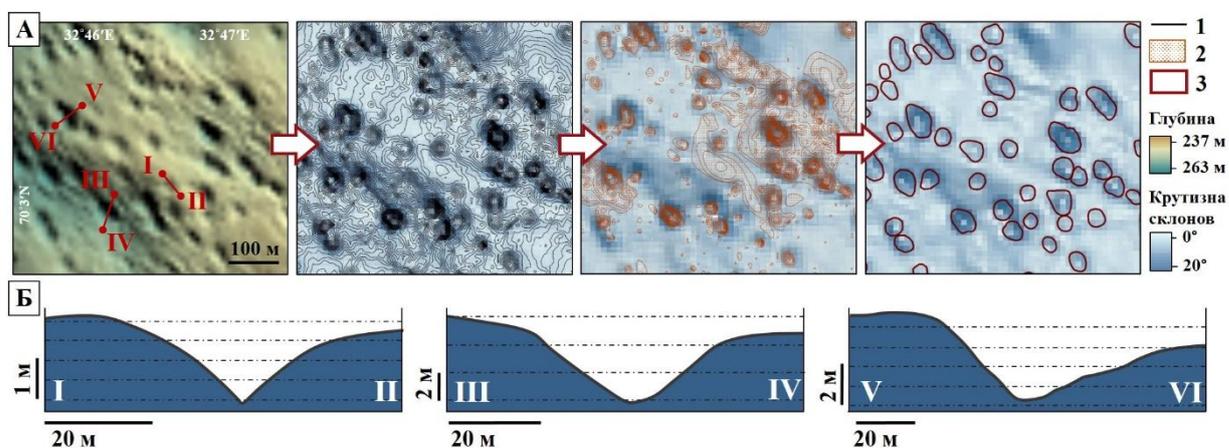


Рис. 1 А – этапы выделения покмарок на цифровой модели рельефа дна. Б – поперечные профили покмарок по линиям I-II – симметричный V-образный, III-IV – симметричный U-образный, V-VI – асимметричный U-образный.

Таблица 1. Сводная таблица морфологических параметров покмарок с примерами

| Параметр | Площадь полигона, км <sup>2</sup> | № формы  | Глубина моря на бровке, м                    | Длина формы L, м                            | Ширина формы B, м                  | Удлиненность (B/L), доля  | Ориентация формы, азимут                    | Площадь формы S, м <sup>2</sup> |
|----------|-----------------------------------|--|--|---|------------------------------------|---------------------------|---|---------------------------------|
| Пример   | 159,79                            | 5.184  | -153,5                                       | 54,5  | 34,5                               | 0,5                       | 80  | 1522                            |
| Параметр | Глубина формы, м                  | Поперечный профиль: 1-V, 2-U, 3-ящик, 4-корыто | Асимметрия склонов: 1-есть (более 5°), 2-нет | Признаки смещения на склонах: 1-есть, 2-нет | Экспозиция наиболее крутого склона | Макс. крутизна склонов, ° | Положение: 1-одиночная, 2-цепочка, 3-группа | Ориентация цепочек, азимут      |
| Пример   | 0,5                               | 1  | 2  | 2   | 300                                | 1,6                       | 2   | 40                              |

**Результаты исследования.** Детальные исследования покмарок проводились в пределах южной и северо-восточной частей Баренцевоморского шельфа на пяти полигонах, различных по своим физико-географическим условиям.

Полигон №1 расположен на западном склоне Нордкапско-Мурманского желоба на глубинах 111-265 м. Фоновый рельеф на данном участке представляет собой ледниковую равнину, осложненную отдельными крупными грядами и холмами с интенсивной экзарационной переработкой. На большей части полигона глубина моря составляет 110-150 м, однако, резко выделяется участок полого-наклонной морской равнины в северо-западной части полигона, где глубина увеличивается до 250-265 м. Полигон №2 находится у северо-западной оконечности Новой Земли в пределах плато Литке. На данном полигоне отмечаются наибольшие глубины, которые изменяются от 240 до 364 м. Северная и центральная часть полигона представляют собой зандровую равнину, осложненную озоподобными грядами. Рельеф в южной части полигона представлен грядово-холмистой и пологоволнистой ледниковой равниной, осложненной флютинг-моренами и бороздами ледового выпаживания. На полигоне №3, расположенном в днище Южно-Новоземельского желоба, фоновая поверхность представляет собой холмисто-грядовую и холмисто-западинную ледниковую равнину с глубинами от 165 м до 175 м. Среди гряд на полигоне выделяется две генерации: крупные гряды юго-восточного простирания и перпендикулярные к ним изогнутые в плане серии более мелких гряд. Полигоны №4 и №5 расположены в пределах северо-восточного склона Южно-Новоземельского желоба на глубинах 61-210 м. Фоновый рельеф этих полигонов представлен полого-наклонной морской равниной, однако, резко выделяются восточные части этих полигонов, где расположены участки первичной денудационно-тектоническая волнистой равнины с отдельными отпрепарированными ледниковыми процессами грядами юго-восточного простирания.

Детальные исследования позволили выделить на полигонах 2218 покмарок (табл. 2). Однако, плотность их расположения значительно различается между полигонами: максимальная плотность отмечается на полигоне №1 (более 300 шт/км<sup>2</sup>), на полигоне №4 плотность покмарок достигает 44 шт/км<sup>2</sup>, а на участках №2, №3 и №5 покмарки расположены значительно реже, здесь их максимальная плотность не превышает 9 шт/км<sup>2</sup>.

Таблица 2. Пространственная характеристика покмарок на ключевых полигонах

| № полигона | Площадь, км <sup>2</sup> | Количество форм, шт. | Площадь, занятая формами, км <sup>2</sup> (% от площади полигона) | Максимальная плотность на полигоне (шт./км <sup>2</sup> ) |
|------------|--------------------------|----------------------|---|---|
| 1          | 75,88                    | 1607                 | 1,47 (1,93)   | 300,7   |
| 2          | 98,59                    | 85                   | 0,36 (0,37)   | 5,1   |
| 3          | 46,04                    | 92                   | 0,30 (0,66)   | 7,4   |
| 4          | 18,69                    | 35                   | 0,08 (0,42)   | 44,2  |
| 5          | 159,79                   | 399                  | 0,81 (0,51)   | 8,5   |

Плановые размеры покмарок (табл. 3) варьируются в весьма широких пределах как внутри полигонов, так и между ними. Так, наибольшая средняя длина покмарок отмечается на полигонах №2 и №4, где значения этого показателя составляют 83 и 86 м соответственно. Самые маленькие средние размеры флюидогенных форм характерны для полигона №1 – 38 м. Большинство обнаруженных покмарок по своей форме в плане близки к изометричным, среднее значение коэффициента удлиненности для всех форм составляет 0,8. Однако, отдельные формы имеют ярко выраженную удлиненность, минимальное значение коэффициента удлиненности достигает 0,2. Наибольшее количество удлиненных форм зафиксировано на полигоне №4, для которого среднее значение коэффициента удлиненности равно 0,6. Близкая к изометричной форма большинства покмарок позволяет использовать для сравнения плановых размеров

параметр площади. По этому показателю было выделено три группы покмарок: 1) мелкие – с площадью менее 1300 м<sup>2</sup>; средние – с площадью от 1300 до 2200 м<sup>2</sup>; крупные – с площадью более 2200 м<sup>2</sup>. За границу между малыми и средними формами принято среднее значение площади, граница между средними и большими формами установлена как «среднее значение + среднее квадратичное отклонение». Мелкие формы являются наиболее распространенными в пределах полигонов детального исследования, к этой группе относится 69% от всех выявленных форм, а на полигоне №1 доля мелких покмарок достигает 82%. Средние и крупные покмарки распространены достаточно равномерно, доля таких форм среди общего количества покмарок составляет 17% и 14% соответственно. Однако, на полигоне №3 отмечается повышенное количество крупных покмарок, их доля на данном полигоне достигает 60%. Относительная глубина покмарок также значительно различается между полигонами. На полигонах №1, №3 и №5 средняя глубина покмарок составляет около 1 м, однако, на полигонах №2 и №4 отмечаются значительно более глубокие формы, средняя глубина которых достигает 2 м. Для всех полигонов детального исследования преобладающими являются покмарки с глубиной менее 3 м, доля таких форм составляет 93,6%.

Таблица 3. Основные морфометрические параметры покмарок на ключевых полигонах

| № полигона | Площадь, м <sup>2</sup> |      |       | Длина, м |     |       | Ширина, м |     |       | Глубина, м |     |       |
|------------|-------------------------|------|-------|----------|-----|-------|-----------|-----|-------|------------|-----|-------|
|            | мин.                    | ср.  | макс. | мин.     | ср. | макс. | мин.      | ср. | макс. | мин.       | ср. | макс. |
| 1          | 90                      | 912  | 6344  | 12       | 38  | 123   | 10        | 28  | 80    | 0,2        | 1,5 | 6,8   |
| 2          | 122                     | 4285 | 23359 | 13       | 83  | 274   | 11        | 56  | 125   | 0,5        | 2,1 | 7,8   |
| 3          | 254                     | 3276 | 16395 | 20       | 70  | 161   | 17        | 55  | 140   | 0,2        | 1,0 | 2,3   |
| 4          | 27                      | 2242 | 6144  | 20       | 86  | 197   | 14        | 44  | 76    | 1,0        | 1,9 | 3,0   |
| 5          | 125                     | 2040 | 18397 | 13       | 54  | 195   | 12        | 40  | 153   | 0,3        | 0,9 | 4,4   |

Анализ связи размеров флюидогенных форм с литологией четвертичных отложений показал, что крупные в плане формы тяготеют к участкам распространения более крупнодисперсных осадков. Крупные покмарки (с площадью более 2200 м<sup>2</sup>) в 52% случаях приурочены к морским и ледово-морским осадкам с повышенным содержанием песка, гравия, гальки и щебня. Маленькие покмарки наоборот в большинстве случаев встречаются на участках распространения глинистых алевритов и глин морского происхождения (такая закономерность отмечается в 85% случаев). Вероятно, это обусловлено различиями во флюидоупорных свойствах осадков: в глинистых осадках поток флюидов фокусируется в ослабленных зонах при прорыве на поверхность, что приводит к образованию воронок меньшего диаметра. Также установлено, что самые глубокие покмарки приурочены обычно к областям с близким к поверхности залеганием ледниковых отложений на полигонах №1 и №2. Вероятно, наиболее глубокие и крупные в плане формы образовались в результате прорыва на поверхность мощных потоков флюидов после снятия ледниковой нагрузки.

Для полигонов детального исследования наиболее характерны покмарки с U-образным профилем (табл. 4), доля которых в целом составляет 52,6%, а также покмарки с V-образным профилем, доля которых составляет 31,1%. Количество покмарок с корыто- и ящикообразным профилем незначительно, доля для каждой из этих форм профиля не превышает 10% от общего количества выявленных покмарок. Установлено, что на участках распространения осадков с более крупным составом развиты формы с более пологим профилем. Например, на участках, где с поверхности залегают песчаные алевриты, сосредоточено 92% ящикообразных и 66% U-образных покмарок, в то время как формы с V-образным профилем встречаются на таких участках всего в 53% случаев. Вероятно, в более крупных по составу осадках происходит рассеивание потока флюидов, что приводит к образованию покмарок с выраженным днищем.

Таблица 4. Доля покмарок с различной формой поперечного профиля (в %)

| № полигона | V-образным | U-образным | ящикообразным | корытообразным |
|------------|------------|------------|---------------|----------------|
| 1          | 28,1       | 57,7       | 12,9          | 1,3            |
| 2          | 18,8       | 38,8       | 2,4           | 40,0           |
| 3          | 23,9       | 33,7       | 1,1           | 41,3           |
| 4          | 20,0       | 51,4       | 11,4          | 17,1           |
| 5          | 48,6       | 40,4       | 0,3           | 10,8           |
| Общая      | 31,1       | 52,6       | 9,7           | 6,7            |

Анализ пространственного распределения покмарок на полигонах продемонстрировал тектоническую обусловленность размещения флюидогенных форм. Тектонические нарушения выступают в роли каналов миграции флюидов глубинного происхождения к поверхности, что приводит к повышенной плотности расположения покмарок вблизи разломных нарушений. Например, на полигоне №4 участок с повышенной плотностью покмарок приурочен к бортам и днищу ложбинообразного понижения, заложенному по крупному разлому, направление которого соответствует направлению Вашуткино-Талотинской надвиговой зоны [Артюшков и др., 2020]. Кроме того, на данном полигоне более 35% покмарок собраны в цепочки, ориентировка которых также согласна надвиговой зоне. Вероятно, цепочки маркируют локальные разломы и нарушения, подъем флюидов по которым является причиной возникновения флюидогенных форм. На расположенном поблизости полигоне №3 также отмечается приуроченность флюидогенного рельефа к тектоническим нарушениям. На этом полигоне обнаружено несколько пересекающихся разломов в фундаменте и осадочном чехле, являющихся ответвлением Вашутинско-Талотинского взбросо-надвига и Варандейской разломной зоны. Для этого полигона характерна максимальная доля покмарок, собранных в группы (77% форм), что обусловлено наличием многочисленных пересечений разломной сети разной ориентировки.

Воздействие склоновых смещений материала и придонных течений приводит к значительной моделировке существующих покмарок. Так, несмотря на преобладание изометричных в плане форм, на полигонах №2 и №4 выявлено повышенное количество удлиненных покмарок (17% и 54% соответственно) с коэффициентом удлиненности 0,5 и менее. Отмечается согласованность азимутов удлиненности покмарок с направлениями течений – Восточной ветви Мурманского течений на полигоне № 2 и течений, направленных в Карские ворота, на полигоне №4. Смещение осадков по склонам покмарок приводит к формированию ступенчатости профиля и уменьшению глубины форм. Признаки смещения материала обнаружены в регионе исследования у 34% покмарок. Наиболее интенсивная моделировка флюидогенных форм отмечается на полигоне №3, где признаки смещения материала обнаружены у 58% покмарок, а также на полигонах №4 и №5. Эту закономерность можно объяснить как возрастом самих форм (для полигона №3 практически не зафиксировано признаков современного флюидопроявления в осадке и водной толще, что может говорить об относительной древности покмарок на данном полигоне), так и составом донных осадков (на полигонах №4 и №5 залегают глинистые морские осадки, обладающие низкой устойчивостью к оползанию, в отличие от супесчаных и песчаных отложений морского и ледово-морского происхождения [Козлов, 2005]).

**Выводы.** Морфологические параметры покмарок на полигонах детального исследования варьируют в весьма широких пределах: длина изменяется от 12 до 200 м, ширина – от 10 до 150 м, площадь – от 100 до 20 тыс. м<sup>2</sup>, глубина – от 0,5 до 7 м. Такие размеры покмарок согласуются с опубликованными данными исследований, проводившихся в Северной Атлантике, однако значительно уступают формам, обнаруженным в морях Восточного сектора Арктики. Плотность покмарок и их взаимное

расположение, в частности на полигонах №3 и 4, связаны с тектоническими нарушениями, так как зоны повышенной трещиноватости и разломы являются путями миграции флюидов глубинного происхождения к поверхности дна.

Морфологические особенности покмарок обусловлены литологическим составом четвертичных отложений. Наиболее крупные покмарки с пологими формами профиля (U-образной и корытообразной) чаще фиксируются на участках распространения супесчаных и песчаных отложений. Для ареалов распространения глинистых отложений наоборот характерны меньшие размеры покмарок и их V-образный профиль. Эта закономерность может быть связана с дифференцированной интенсивностью потока флюидов в осадках разного литологического состава.

Дальнейшая моделировка покмарок происходит под воздействием современных экзогенных процессов: смещение материала по склонам приводит к сглаживанию профиля и появлению ступенчатости и асимметрии склонов, а придонные течения формируют удлиненные в плане покмарки.

**Благодарности.** Морские экспедиционные работы выполнены в рамках темы госзадания ГИН РАН FMMG-2023-0005 Влияние глубинного строения мантии на тектонику, морфологию структур дна и опасные геологические процессы в глубоководных и шельфовых акваториях Мирового океана. Камеральная обработка выполнены при финансовой поддержке проекта РНФ № 22-77-10091 «Закономерности проявления дегазации на Баренцево-Карском шельфе и ее влияние на рельеф и донные отложения».

## ЛИТЕРАТУРА

*Артюшков Е.В., Балувев А.С., Богацкий В.И. и др.* Шельфовые осадочные бассейны Российской Арктики. Геология, геоэкология, минерально-сырьевой потенциал. Мурманск, СПб.: «Реноме», 2020. 544 с.

*Гусев Е.А., Костин Д.А.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист R-39-40. Карта плиоцен-четвертичных образований. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2014.

*Козлов С.А.* Оценка устойчивости геологической среды на морских месторождениях углеводородов в Арктике // Электронный научный журнал нефтегазовое дело. 2005. №1.

*Костин Д.А., Орго В.В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист T-41-44. Карта четвертичных образований. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2013.

*Кохан А.В., Мороз Е.А., Еременко Е.А., Денисова А.П., Ананьев Р.А., Сухих Е.А., Никифоров С.Л., Соколов С.Ю., Разумовский А.А.* Флюидогенный рельеф районов распространения многолетней мерзлоты на шельфе Печорского и Карского морей // Вестник МГУ. Сер. 5. Геогр. 2023. Т. 78. № 3. С. 104–124. doi:10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.9

*Логвина Е.А., Матвеева Т.В., Гладыш В.А., Крылов А.А.* Комплексные исследования покмарков на Чукотском плато // Проблемы Арктики и Антарктики. 2011. №2 (88). С. 45-54

*Миронюк С.Г., Росляков А.Г.* Типы, активность и закономерности распространения покмарок в арктических морях // Сборник тезисов VII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». 2019. Т. 2. С. 70-76

*Мороз Е.А., Еременко Е.А., Денисова А.П., Мутовкин А.Д., Ананьев Р.А.* Проявление дегазации в осадочном чехле и рельефе Южно-Новоземельского желоба (Печорское море) // Доклады РАН. Науки о Земле. 2023. Т. 512, № 1. С. 5–11. doi:10.31857/S2686739723600820

*Пенедюк Е.В.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист Т-41-44. Литологическая карта поверхности дна акватории. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2013.

*Радченко М.С.* Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 (третье поколение). Северо-Карско-Баренцевоморская серия. Лист R-39,40. Литологическая карта поверхности дна акватории. СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ. 2014.

*Рокос С.И.* Газонасыщенные отложения верхней части разреза Баренцево-Карского шельфа. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. 2009. 42 с.

*Рыбак Е.Н., Ступина Л.В.* Покмарки Черного моря // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2019. 15. № 2. С. doi:10.15407/gpimo2019.01.016

*Ступакова А.В.* Структура и нефтегазоносность Баренцево-Карского шельфа и прилегающих территорий // Геология нефти и газа. 2011. №6. С. 99-115.

*Шнюков Е.Ф., Топачевский И.В.* Газовые сипы Мирового океана // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2019. 15. № 2 (15). С. 3-15 doi:10.15407/gpimo2019.02.003

*Andrews B., Brothers L., Barnhardt W.* Automated feature extraction and spatial organization of seafloor pockmarks, Belfast Bay, Maine, USA // *Geomorphology*. 2010. Vol. 124. p. 55-64. doi: 10.1016/j.geomorph.2010.08.009

*Blasco S., Bennett R., Brent T. et al.* 2010 State of Knowledge: Beaufort Sea seabed geohazards associated with offshore hydrocarbon development. Geological Survey of Canada, Open File 6989, 2013. 340 p. doi:10.4095/292616

*Judd A., Hovland M.* Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge University Press. 2007. 492 p.

*King L. MacLean B.* Pockmarks on the Scotian Shelf // *Geological Society of America Bulletin*. 1970. P. 3141-3148. doi:10.1130/0016-7606(1970)81[3141:POTSS]2.0.CO;2

## **POCKMARKS MORPHOLOGY WITHIN THE SOUTHERN AND NORTH-EASTERN PARTS OF THE BARENTS SEA SHELF**

*Denisova A.P.<sup>1</sup>, Moroz E.A.<sup>1</sup>, Eremenko E.A.<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup>Geological Institute of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

Based on the results of expeditionary research during cruises 38, 52, 56 of the R/V Akademik Nikolay Strakhov and cruise 51 of the R/V Akademik Boris Petrov, a detailed study of the morphology of pockmarks was conducted at five sites within the southern and northeastern parts of the Barents Sea shelf. More than 2,000 pockmarks were found in the areas of detailed research, for which the relationship of the planned sizes, depths and cross-section shapes with the geological and geographical conditions of the territory was analyzed. It was revealed that the largest forms with a flatter cross-section are usually confined to areas of distribution from the surface of sandy loam deposits, while small pockmarks with a V-shaped profile are confined to areas of distribution of denser clay sediments. It has been established that the deepest pockmarks are found in areas that were covered by glaciers in the recent past, which may be associated with active degassing of sediments after the removal of the glacial load. Further changes in the morphology of pockmarks occur under the influence of modern exogenous processes, primarily bottom currents and displacement of material along the slopes. It has been established that manifestations of degassing and pockmarks are confined to tectonic disturbances that serve as migration routes for fluids of deep origin to the bottom surface, which is manifested, among other things, in the mutual arrangement of pockmarks and the location of areas with their increased density.

Keywords: *degassing, fluidogenic bedforms, multibeam survey, seismoacoustic profiling, morphometric analysis*

## REFERENCES:

- Artyushkov E.V., Baluev A.S., Bogatskii V.I. et al.* Shelf sedimentary basins of the Russian Arctic. Geology, geocology, mineral resource potential. Murmansk, Saint Petersburg: «Renome», 2020. 544 p. (In Russ.)
- Gusev E.A., Kostin D.A.* State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1000000 (third generation). North Kara-Barents Sea Series. Sheet R-39-40. Map of Pliocene-Quaternary formations. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2014 (In Russ.)
- Kozlov S.A.* Assessment of the stability of the geological environment at offshore hydrocarbon fields in the Arctic // Electronic scientific journal Oil and Gas Business. 2005. No. 1. (In Russ.)
- Kostin D.A., Orgo V.V.* State Geological Map of the Russian Federation at a scale of 1:1000000 (third generation). North Kara-Barents Sea Series. Sheets T-41-44. Map of Quaternary formations. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2013 (In Russ.)
- Kokhan A.V., Moroz E.A., Eremenko E.A., Denisova A.P., Ananiev R.A., Sukhik E.A., Nikiforov S.L., Sokolov S.Yu., Razumovskiy A.A.* Fluidogenic landforms within the permafrost zone on the shelf of the Pechora and Kara seas // Lomonosov Geography Journal. 2023. N. 3. P. 104-124. (In Russ.) doi:10.55959/MSU0579-9414.5.78.3.9
- Logvina E.A., Matveeva T.V., Gladyshev V.A., Krylov A.A.* Comprehensive studies of pockmarks on the Chukchi Plateau // Problems of the Arctic and Antarctic. 2011. No. 2 (88). P. 45-54 (In Russ.)
- Mironyuk S.G., Roslyakov A.G.* Types, activity and patterns of distribution of pockmarks in the Arctic seas // Collection of abstracts of the VII International scientific and practical conference "Marine Research and Education (MARESEDU-2018)". 2019. Vol. 2. P. 70-76 (In Russ.)
- Moroz E.A., Eremenko E.A., Denisova A.P., Mutovkin A.D., Ananiev R.A.* The Manifestation of Degassing in the Sedimentary Cover and Relief of the Southern Novaya Zemlya Trench (Pechora Sea) // Doklady Earth Sciences. 2023. Vol. 512. Is. 1. P. 773-778. doi: 10.1134/S1028334X23601013
- Penedyuk E.V.* State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1000000 (third generation). North Kara-Barents Sea Series. Sheet T-41-44. Lithological map of the bottom surface of the water area. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2013 (In Russ.)
- Radchenko M.S.* State Geological Map of the Russian Federation, scale 1:1.000.000 (third generation). North Kara-Barents Sea Series. Sheets R-39, 40. Lithological map of the bottom surface of the water area. St. Petersburg: VSEGEI Cartographic Factory. 2014 (In Russ.)
- Rokos S.I.* Gas-saturated sediments of the upper part of the Barents-Kara shelf section. Abstract of a dissertation for the degree of candidate of geographical sciences. 2009. 42 p. (In Russ.)
- Rybak E.N., Stupina L.V.* Pockmarks of the Black Sea // Geology and minerals of the World Ocean. 2019. 15. No. 2. P. 16-34 (In Russ.) doi:10.15407/gpimo2019.01.016
- Stupakova A.V.* Structure and oil and gas content of the Barents-Kara shelf and adjacent territories // Geology of oil and gas. 2011. No. 6. P. 99-115 (In Russ.)
- Shnyukov E.F., Topachevsky I.V.* Gas seeps of the world ocean // Geology and minerals of the World Ocean. 2019. 15. No. 2. P. 3-15 (In Russ.) doi:10.15407/gpimo2019.02.003
- Andrews B., Brothers L., Barnhardt W.* Automated feature extraction and spatial organization of seafloor pockmarks, Belfast Bay, Maine, USA // Geomorphology. 2010. Vol. 124. P. 55-64. doi: 10.1016/j.geomorph.2010.08.009
- Blasco S., Bennett R., Brent T. et al.* 2010 State of Knowledge: Beaufort Sea seabed geohazards associated with offshore hydrocarbon development. Geological Survey of Canada, Open File 6989, 2013, 340 p. doi:10.4095/292616
- Judd A., Hovland M.* Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge University Press. 2007. 492 p.
- King L. MacLean B.* Pockmarks on the Scotian Shelf // Geological Society of America Bulletin. 1970. P. 3141-3148. doi:10.1130/0016-7606(1970)81[3141:POTSS]2.0.CO;2