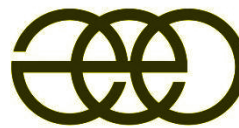




*Московский государственный университет
имени М.В. Ломоносова
Географический факультет
Кафедра геоморфологии и палеогеографии*

ИНСТИТУТ ГЕОГРАФИИ
Российской академии наук



основан в 1918 году

*Геоморфологическая комиссия РАН
Институт географии РАН
Лаборатория геоморфологии
Отдел палеогеографии четвертичного периода*

**МАТЕРИАЛЫ
ВСЕРОССИЙСКОЙ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ
“IX Щукинские чтения: к 80-летию кафедры геоморфологии и палеогеографии
и 270-летию Московского университета” и
“XXXVIII Пленум геоморфологической комиссии РАН”**



3–6 апреля 2025, Москва

УДК 551.4
ББК 26.823

Утверждено к печати Ученым советом Института географии РАН

Редакционная коллегия:

с.н.с., к.г.н. В.А. Алексеева, н.с., к.г.н. Д.В. Баранов,
доц., к.г.н. Ю.Р. Беляев, проф., д.г.н. С.И. Болысов, в.н.с., д.г.н. С.А. Буланов,
проф., д.г.н. А.В. Бредихин, с.н.с., к.г.н. Е.В. Гаранкина,
г.н.с., д.г.н. В.Н. Голосов, н.с., к.г.н. А.Л. Гуринов, в.н.с., к.г.н. Е.В. Лебедева,
в.н.с., к.г.н. А.Н. Маккавеев, доц., к.г.н. Е.Ю. Матлахова,
с.н.с., к.г.н. Т.Ю. Репкина, в.н.с., к.г.н. С.В. Харченко,
зав. лаб., к.т.н. С.В. Шварев

Ответственный редактор:

с.н.с., к.г.н. Екатерина Вадимовна Гаранкина

Рецензенты:

рук. подразделения, д.г.н. Сергей Романович Веркулич (ААНИИ)
г.н.с., д.г.н. Владимир Николаевич Михаленко (ИГ РАН)

Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием “IX Шукинские чтения: к 80-летию кафедры геоморфологии и палеогеографии и 270-летию Московского университета” и “XXXVIII Пленум геоморфологической комиссии РАН”, Москва, 3-6 апреля 2025 г. / отв. ред. Е.В. Гаранкина [Электронное издание] — М.: ИГ РАН, МГУ, 2025. — 676 с.

Настоящий сборник представляет материалы, поданные на объединенную конференцию “IX Шукинские чтения: к 80-летию кафедры геоморфологии и палеогеографии и 270-летию Московского университета” и “XXXVIII Пленум геоморфологической комиссии РАН”. Мероприятие было посвящено глобальным и региональным проблемам геоморфологии, вопросам эндогенного и экзогенного рельефообразования, в том числе на других планетах. Также рельеф был рассмотрен как в исторической и палеогеографической ретроспективе, так и как объект исследования современными и классическими методами, обсуждались и его связи с природопользованием. Отдельное внимание было уделено истории отечественной геоморфологии и ее развитию в средней и высшей школе. География исследований представлена не только многочисленными уголками нашей страны, но и отдельными работами за ее пределами. Сборник, содержащий материалы 128 геоморфологических исследований, будет интересен специалистам в области геоморфологии, геологии, палеогеографии четвертичного периода, а также студентам и аспирантам перечисленных специальностей.

Proceedings of the All-Russian conference “IX Shchukin Readings: to the 80th anniversary of the Geomorphology and Paleogeography Department and the 270th anniversary of Moscow University” and “XXXVIII Plenum of the Geomorphological Commission RAS”, Moscow, April 3-6, 2025 / ed. E.V. Garankina [Electronic publication] — Moscow, IG RAS, MSU, 2025. — 676 p.

ISBN 978-5-89658-084-3

© Текст. Авторы, 2025

© ИГ РАН, 2025

© МГУ имени М.В. Ломоносова, 2025

Москва, 2025

ПОКМАРКИ РАЙОНОВ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД В ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ КАРСКОГО МОРЯ

А.П. Денисова¹, Е.А. Мороз¹, Р.А. Ананьев²

¹*Геологический институт РАН, лаборатория геоморфологии и тектоники дна океанов,
Москва, anden6900@gmail.com, morozzea@gmail.com*

²*Институт океанологии имени П.П. Ширшова РАН, лаборатория сейсмостратиграфии,
Москва, corer@mail.ru*

На основе материалов комплексных геофизических работ, выполнявшихся в 52 и 56 рейсах НИС «Академик Николай Страхов», было проведено исследование флюидогенного рельефа на ряде полигонов в западной части шельфа Карского моря. Целью работы является изучение особенностей морфологии покмарок, обнаруженных в зоне распространения субаквальной криолитозоны. Работа основана на обработке материалов многолучевого эхолотирования и сейсмоакустического профилирования, включавшей в себя морфометрический анализ выявленных флюидогенных форм и анализ их расположения внутри полигонов. Установлено, что ключевую роль в интенсивности газопроявления и особенностях морфологии покмарок в регионе исследований оказывают тектоническое строение и распространение многолетнемерзлых пород, высокие флюидоупорные свойства которых приводят к фокусировке потоков флюидов. Кроме того, активная деградация субаквальной мерзлоты может приводить к разрушению внутримерзлотных газогидратов, носящему взрывной характер, и формированию покмарок специфической морфологии.

Ключевые слова: дегазация, флюидогенный рельеф, морфометрический анализ, акустические аномалии, эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование

Введение. Шельфовые зоны морей Российской Арктики являются регионами активного газопроявления, что фиксируется как в виде акустических аномалий в осадках и водной толще, так и в виде флюидогенного рельефа на поверхности дна, представленного преимущественно покмарками (rockmarks) — изометричными блюдцеобразными понижениями. Наиболее распространенной гипотезой возникновения этих форм (Judd, Novland, 2007; Миронюк, Росляков, 2019) является прорыв флюидов через толщу плотных донных осадков и взмучивания вещества с поверхности. Для областей развития субаквальной мерзлоты предполагается иная гипотеза происхождения покмарок: в таких условиях покмарки могут представлять собой аналог воронок газового выброса, которые в последние годы обнаружены в ряде регионов криолитозоны. В этом случае покмарки являются вторичными формами, сформированными взрывами пингоподобных поднятий, давление флюидов в которых достигло критических отметок (Бородкин и др., 2019). К настоящему времени покмарки обнаружены в Баренцевом и Карском морях, море Лаптевых, Восточно-Сибирском и Чукотском морях. Однако, размеры и морфология выявленных форм имеют значительные различия, например, размер покмарок изменяется от 900 м в диаметре при глубине в первые десятки метров в Чукотском и Восточно-Сибирском морях до первых десятков метров в диаметре при глубине в первые метры в Баренцевом море (Логвина и др., 2011; Кохан и др., 2024). Для шельфа Карского моря характерно распространение субмаринной криолитозоны, сформировавшейся здесь в период позднеплейстоценовой регрессии (Бирюков, Совершаев, 1985; Рокос и др., 2009). *Целью данной работы* является

изучение особенностей морфологии покмарок, обнаруженных в зоне распространения субаквальной криолитозоны Карского шельфа.

Материалы и методы. Морфология покмарок и строение верхней части разреза осадочного чехла в западной части Карского моря изучались в рамках комплексных геолого-геофизических работ в ходе 52, 56 рейсов НИС «Академик Николай Страхов». Для детальных исследований было выбрано 3 полигона: Полигоны № 1 и № 2 расположены вблизи нефтегазоносных структур Эдварда и Кропоткина (Смирнов и др., 2019). Характерной особенностью рельефа этих полигонов является наличие на них крупных фрагментов палеодолин субмеридианального направления, имеющих относительную глубину от 30 до 130 м при ширине от 3 до 10 км. Глубина моря в пределах этих полигонов составляет от 50 до 200 м. Полигон № 3 расположен в районе нефтегазоносной структуры Рогозинская на глубинах от 30 до 65 м (в 90 км к ССВ от полигонов № 1.2).

Батиметрическая съемка в ходе рейсов проводилась с использованием гидроакустического комплекса REASON Seabat. Для первичной обработки данных эхолотирования и создания цифровых моделей дна использовался программный пакет PDS 2000. Акустическое профилирование выполнялось с использованием параметрического профилографа Parasound P35, который позволяет снимать в двух режимах: на низких 2.5 кГц (для осадочной толщи) и высоких 21 кГц (для водной толщи) частотах. Для обработки сейсмоакустических данных применялась программа Kingdom Software 8.3, в которой проводилось пикирование акустических аномалий, маркирующих газопроявление: ярких и плоских пятен, областей вертикального акустического осветления, участков прогибания рефлекторов и газовых труб в осадочном чехле, а также акустической мутности и корневых и бескорневых газовых факелов в водной толще. Дальнейшая работа с цифровыми моделями рельефа проводилась в программных пакетах ArcMap 10.6 и GlobalMapper 22.0 и включала дешифрирование покмарок, определение их основных морфометрических и морфологических параметров (длина, ширина, глубина, коэффициент удлиненности, азимут удлиненности, форма поперечного профиля и др.), оценку особенностей взаимного расположения форм.

Результаты и обсуждение. На всех полигонах детального исследования обнаружен флюидогенный рельеф, представленный преимущественно покмарками. На полигоне № 1 выделяется две морфологические группы покмарок: более мелкие (с диаметром около 100 м при глубине 5–10 м) формы сосредоточены в северо-западной части полигона и единично встречаются вдоль западного борта палеодолины; более крупные (с диаметром до 200 м при глубине 5 м и менее) расположены в наиболее низкой северной части палеодолины. Для мелких покмарок характерна V-образная форма поперечного профиля, в то время как более крупные формы отличаются U-образной формой поперечного профиля и субмеридионально вытянуты в плане. На основе формы более крупных покмарок можно выдвинуть предположение об их большем возрасте и высокой степени переработки склоновыми процессами и придонными течениями. В пределах псевдотеррасы на западном борту палеодолины обнаружены достаточно мелкие пингоподобные поднятия высотой до 5 м и диаметром около 100–150 м.

На полигоне № 2 покмарки также могут быть разделены на два морфологических типа. Вдоль западного борта палеодолины расположены более мелкие формы, диаметр которых составляет около 100 м при глубине порядка 5 м. Вдоль восточного борта палеодолины и на фоновой поверхности морской равнины выявлены формы более крупные, их диаметр достигает 200–300 м при глубине около 10 м. Помимо размеров эти покмарки отличаются большей вытянутостью, что особенно заметно на поверхности морской равнины. Все выявленные покмарки, в большинстве своем, приурочены к локальным понижениям и собраны в цепочки, что может свидетельствовать о приуроченности дегазации к трещинам и разломам. Помимо покмарок на полигоне № 2 в днище палеодолины обнаружено три изометричных куполообразных поднятия диаметром 700–900 м и высотой около 30 м, которые могут представлять собой крупные пингоподобные поднятия. Эти поднятия опоясаны цепочками покмарок, которые, предположительно, могли образоваться в результате растрескивания отложений при увеличении давления флюидов в ходе роста пингоподобных форм.

На полигоне № 3 покмарки значительно отличаются по своей форме. На этом полигоне выделено около 50 покмарок, которые можно разделить на две группы по плановым размерам. Первая группа включает покмарки с диаметром порядка 90–150 м, ко второй группе относятся более крупные формы с диаметром порядка 200–400 м. При этом отсутствует связь между глубиной форм и их диаметром: в обеих группах встречаются покмарки с глубиной от 2 до 10 м. Ключевой особенностью покмарок на полигоне № 3 является ящикообразная форма поперечного профиля с плоским днищем и выраженная изометричность в плане. Такой формы профиля не наблюдается у покмарок на полигонах № 1 и № 2, где преобладают U- и V-образные в профиле формы. Данные сейсмоакустического профилирования показывают, что плоское днище и ящикообразная форма профиля покмарок связана с их заполнением морскими слоистыми осадками. Ряд исследований в этом регионе относит подобные понижения к термокарстовым котловинам (Буланова и др., 2022), однако, о флюидогенном происхождении форм на полигоне детального исследования говорит наличие в осадочной толще под ними вертикального акустического осветления и прогибания рефлекторов, маркирующих каналы подъема газа.

На полигонах № 1 и № 2 покмарки приурочены к днищам и бортам палеодолин, заложенных по разломным зонам и зонам повышенной трещиноватости. Это свидетельствует о тектонической обусловленности дегазации в регионе исследования. При этом палеодолины выступают в качестве каналов разгрузки флюидов глубинного происхождения. В случае полигона № 3 фоновый рельеф не имеет четких признаков тектонических нарушений, однако и здесь флюидогенные формы сосредоточены в пределах крупных понижений дна, предположительно, флювиальной и криогенной природы.

Важной особенностью полигонов детального исследования является их расположение в зоне островного расположения ММП, что подтверждается, в том числе, данными сейсмоакустического профилирования. Обладающие высокими флюидоупорными свойствами мерзлые породы оказывают влияние на перераспределение потоков флюидов. Днища палеодолин на полигонах № 1 и № 2, вероятно, являются таликовыми зонами, по которым происходит подъем флюидов, что также обуславливает приуроченность аномалий и

флюидогенных форм к этим понижениям. Мерзлые толщи в пределах полигона № 3 обладают большей мощностью и сплошностью (Соловьев, Гинсбург, 2004; Перлова и др., 2017), а их переход в стадию деградации в результате затопления морской трансгрессией наступил позднее, чем на полигонах № 1 и № 2. Активная деградация мерзлоты в приповерхностном слое осадков, возможно, определяет вклад распада внутримезлотных газогидратов образование покмарок на полигоне № 3. В таком случае дегазация имеет эксплозивный характер, что определяет специфическую морфологию покмарок на полигоне № 3, а именно их крутые склоны и изометричную в плане форму. Важно отметить, что форма покмарок на полигоне № 3 имеет сходство с воронками газового выброса, обнаруженными на суше в ряде регионов криолитозоны (Богоявленский, 2014; Кизяков и др., 2015).

Выводы. Проведенные исследования на ряде полигонов в западной части Карского моря демонстрируют широкое развитие флюидогенного рельефа в зоне распространения субаквальной криолитозоны на шельфе морей Российской Арктики. Обнаруженные покмарки имеют глубину от первых метров до 10 м, а по плановым размерам могут быть разделены на два типа: мелкие формы с диаметром менее 150 м и значительно более крупные формы, диаметр которых может достигать 400 м. Ключевыми факторами, определяющими интенсивность дегазации и, следовательно, расположение покмарок в пределах полигонов являются тектоническое строение территории и распространение многолетнемерзлых пород. Разломные зоны и зоны повышенной трещиноватости, выраженные на поверхности дна в виде крупных понижений рельефа, являются путями разгрузки флюидов глубинного происхождения, в то время как высокие флюидоупорные свойства мерзлых пород приводят к фокусировке потоков флюидов по таликовым зонам. Кроме того, для полигона № 3 вероятен вклад в формирование флюидогенного рельефа деградации внутримезлотных газогидратов, что определяет значительное отличие морфологии флюидогенных форм на этом полигоне.

Благодарности. Работа выполнена при поддержке проекта РНФ № 22-77-10091 «Закономерности проявления дегазации на Баренцево-Карском шельфе и ее влияние на рельеф и донные отложения».

ЛИТЕРАТУРА

- Бирюков В.Ю., Совершаев В.А. Рельеф дна юго-западной части Карского моря и история развития его в голоцене. В кн.: Геология и геоморфология шельфов и материковых склонов. М. Наука. 1985. С. 89–95.
- Богоявленский В.И. Угроза катастрофических выбросов газа из криолитозоны Арктики. Воронки Ямала и Таймыра. Бурение и нефть. 2014. № 9. С. 13–18
- Бородкин В.Н., Смирнов О.А., Иноземцева Л.А. «Трубки взрыва» в акватории Баренцево-Карского морей и севера Западной Сибири — один из положительных критериев прогноза нефтегазоносности. Тюменская область: историческая ретроспектива, реалии настоящего, контуры будущего. Сб. статей междунар. науч. конф. 2019. С. 547–553.
- Буланова И.А., Шиндина Н.Е., Томасенко С.В., Уголькова Е.А., Пирогова А.С., Рыбалко А.Е., Токарев М.Ю. Примеры проявления признаков, характерных для криогенных процессов, на участке детальных исследований в окрестностях о-ва Уединения (Карское море). Мат-лы XVII Общеросс. науч.-практ. конф. и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в РФ». 2022. С. 407–410

- Кизяков А.И., Сонюшкин А.В., Лейбман М.О., Зимин М.В., Хомутов А.В. Геоморфологические условия образования воронки газового выброса и динамика этой формы на центральном Ямале. Криосфера Земли. 2015. Т. 19. №. 2. С. 15–25
- Кохан А.В., Еременко Е.А., Мороз Е.А., Ермаков А.В., Соколов С.Ю. Флюидогенный рельеф на шельфах морей Арктики. Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5.: Геогр. 2024. № 2. С. 91–107. <https://doi.org/10.55959/MSU0579-9414.5.79.2.8>
- 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. Сб. тезисов VII Междунар. науч.-практ. конф. «Морские исследования и образование (MARESEDU-2018)». 2019. Т. 2. С. 70–76.
- Перлова Е.В., Микляева Е.С., Леонова С.А., Ткачев Е.В., Ухова Ю.А. Газовые гидраты полуострова Ямал и прилегающего шельфа Карского моря как осложняющий фактор освоения региона. Вести газовой науки. 2017. № 3. С. 255–262
- Рокос С.И., Длугач А.Г., Локтев А.С., Костин Д.А., Куликов С.Н. Многолетнемерзлые породы шельфа Печорского и Карского морей: генезис, состав, условия распространения и залегания. Инженерные изыскания. 2009. № 10. С. 38–41.
- Смирнов О.А., Лукашов А.В., Недосекин А.С., Курчиков А.Р., Бородкин В.Н. Отображение флюидодинамической модели формирования залежей углеводородов по данным сейсморазведки 2D, 3D на примере акватории Баренцева и Карского морей. Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2019. № 1. С. 17–28
- Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д. Субмаринная криолитозона. Прогноз распространения. Атлас: геология и полезные ископаемые шельфов России. М. ГИН РАН. 2004. С. 3–9
- Judd A., Hovland M. Seabed Fluid Flow: The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment. Cambridge Univ. Press. 2007. 492 pp.