



XIII Международная научно-практическая конференция
«Морские исследования и образование»

XIII International conference
«Marine research and education»

MARESEDU-2024

**ТРУДЫ КОНФЕРЕНЦИИ
CONFERENCE PROCEEDINGS**

Том IV (IV) / Volume IV (IV)

28 октября - 01 ноября 2024 г.

г. Москва

www.maresedu.com



УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

T78

Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)» Том IV (IV): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2025, 608 с.:

ISBN 978-5-6053295-3-4

ISBN 978-5-6053295-1-0 (том IV)

Сборник «Труды XIII Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2024)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из четырех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, гидрографические и геофизические исследования на акваториях, морские ландшафты, морская биология, морские млекопитающие, рациональное природопользование, техника и технологии морских исследований, междисциплинарные региональные проекты, подводное культурное наследие и секция научно-популярных фильмов. Помимо основных секций на конференции были представлены круглые столы: к юбилею проекта Class@Baikal: «10 лет "Обучения-через-исследования" на Байкале», «Пластик водных сред», «Комплексные исследования современного состояния экосистем Черного и Азовского морей в условиях климатических изменений и антропогенного воздействия», которые так же включены в сборник в виде соответствующих глав.

Все тезисы представлены в редакции авторов.

В рамках конференции участники обсудили состояние и перспективы развития комплексных исследований Мирового океана, шельфовых морей и крупнейших озер, актуальные проблемы рационального природопользования и сохранения биоразнообразия в водных пространствах, проблемы освоения ресурсов континентального шельфа, достижения науки в области морской геологии, современные подходы к исследованиям обширных акваторий дистанционными методами, проблемы устойчивого развития экосистем моря и прибрежной зоны, организацию и проведение комплексных экспедиционных исследований, преподавание «морских дисциплин», вопросы организации полевых практик студентов.

Подготовлено к выпуску издательством ООО «ПолиПРЕСС» по заказу ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

ООО «ПолиПРЕСС»

170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский
пр-т, д. 7, пом. II polypress@yandex.ru

Все права на издание принадлежат
ООО «Центр морских исследований
МГУ имени М.В. Ломоносова».

© ООО «Центр морских
исследований МГУ имени М.В.
Ломоносова», 2025
© ООО «ПолиПРЕСС»

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ УЧАСТКА РАЗВИТИЯ
ФЛЮИДОГЕННЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА В МЕЛКОВОДНОЙ ЧАСТИ ПЕЧОРСКОГО
МОРЯ

GEOMORPHOLOGICAL STRUCTURE OF AREA OF DEVELOPMENT OF
FLUIDOGENIC FEATURES IN THE SHALLOW PART OF PECHORA SEA

Кохан Андрей Валерьевич¹, Еременко Екатерина Андреевна^{1,2}, Денисова Анна Павловна¹, Мороз Евгений Андреевич¹, Ананьев Роман Александрович³

¹ Геологический Институт РАН, Москва

² МГУ им. М. В. Ломоносова, Географический факультет, Москва

³ Институт Океанологии РАН, Москва

Kokhan Andrei Valerievich¹, Eremenko Ekaterina Andreevna^{1,2}, Denisova Anna Pavlovna¹, Moroz Evgeny Andreevich¹, Ananiev Roman Aleksandrovich³

¹ Geological Institute of RAS, Moscow

² MSU, Faculty of Geography, Moscow

³ Institute of Oceanology of RAS, Moscow

Введение

Подводные пингоподобные формы (pingo-like features, PLF/ППФ) представляют собой малоизученный геолого-геоморфологический феномен. В ходе работ по научным программам 49-го и 56-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» в 2020 и 2023 гг. и 51-го рейса НИС «Академик Борис Петров» в 2022 г. был обследован полигон в мелководной части Печорского моря, где развиты такие формы. Работы на полигоне включали многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование акустическим профилографом и источником спаркер.

Целью исследования был анализ строения рельефа дна и верхней части осадочного чехла на основании цифровой модели рельефа дна (ЦМР) в разрешении 10x10 м и сейсмоакустических данных. По результатам работ были сформированы предварительные представления о геоморфологическом строении полигона работ.

Результаты

Работа основывается на батиметрических и сейсмических данных, полученных многолучевым эхолотом SeaBat 8111, профилографом EdgeTech 3300 (на НИС «Академик Николай Страхов») и многолучевым эхолотом Reason T-50 ER, профилографом Parasound P70 (на НИС «Академик Борис Петров») и системой непрерывного сейсмопрофилирования. Съёмка была выполнена на полигоне в восточной части Печорского моря с фоновыми глубинами от 50-54 до 30-35 м.

Методика сбора и обработки данных описана в работе [Кохан и др., 2023]. Многолучевой эхолот обеспечил практически 100% покрытие полигонов в выбранном разрешении, тогда как сейсмопрофилирование дало информацию о строении осадочного разреза и газопроявлениях только на профилях, отстоящих друг от друга на расстоянии от 150-160 до 200-250 м в зависимости от глубины дна и использовавшейся модели эхолота. На основании полученной цифровой модели рельефа разрешением 10x10 м было выполнено картирование и морфометрический анализ ППФ по методике, описанной в работе [Денисова, 2024].

Опубликованные сведения о геолого-геоморфологическом строении полигонов работ

По имеющимся опубликованным сведениям, ранее работы на обследованном полигоне не выполнялись. На расстоянии порядка 7 км к северо-западу располагается полигон «Диапиры», обследованный в ходе работ АМИГЭ в 1988 и 1995 гг. [Бондарев и др., 2002]. В 2018-2020 гг. по программе 38-го и 41-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» на этом полигоне была проведена детальная съемка, результаты анализа геолого-геоморфологического строения полигона по полученным в ходе этих работ ЦМР и сейсмоакустическим данным представлены в работе [Кохан и др., 2023].

Результаты работ

Полигон размерами порядка 26x15 км располагается в пределах позднеплейстоценово-голоценовой аккумулятивно-абразионной равнины (глубины менее 50-55 м) восточной части Печорского моря на расстоянии около 45 км к северо-западу от о. Матвеев и 50 км к западу от о. Вайгач. Полигон занимает осевую часть пологосклонного ложбинообразного понижения СЗ-ЮВ простираения шириной по бровкам 20-25 км.

Глубины в границах полигона изменяются от 24 до 54 м с учетом максимальных и минимальных глубин на вершинных поверхностях ППФ и в примыкающих к ним впадинам. Фоновые глубины меняются от 30-35 до 50-52 м. В центральной части полигона располагается тальвег понижения с глубинами от 42-35 до 52 м, возрастающими в северном направлении, на флангах полигона располагаются участки склонов ложбинообразного понижения с глубинами дна до 35-37 м (Рисунок А). Вдоль западного края полигона был частично закартирован северо-восточный борт предположительно аналогичной по строению ложбины с таким же простираением. Ее тальвег, судя по транзитным съемочным профилям располагается в 4-8 км западнее.

В целом в рамках полигона можно выделить три поверхности со слабовыраженными бровками – это южная и восточная полого-наклонная поверхность с минимальными глубинами, северная наиболее глубокая часть полигона и центральная переходная между ними часть. Возможно, эти участки маркируют различные этапы морской трансгрессии.

По результатам высокочастотного акустического профилирования на полигоне выявлены три сейсмостратиграфических комплекса (ССК), согласующиеся со схемой стратиграфии полигона «Диапиры», предложенной в работе [Бондарев и др., 2002].

С поверхности залегает ССК1 (Рисунок, Б) с хаотической высокоамплитудной записью мощностью от первых метров до 20-27 м. Отложения ССК1 ассоциируются с голоценовыми и/или позднеплейстоценовыми (сарганскими) морскими илами, глинами и суглинками ($mQ_3^4-Q^4$). Необходимо отметить, что на отдельных участках крупных впадин, примыкающих к ППФ, строение разреза не прослеживается из-за накоплений газа в толще осадков практически с поверхности, поэтому



максимальная мощность отложений комплекса в таких впадинах, исходя из общей геометрии впадин может достигать 30-35 м.

Под плащеобразным покровом ССКІ или на поверхности дна на участках размыва ССКІ залегают отложения акустически слоистого ССКІІ сложно отслеживаемой мощности. Там, где под отложениями ССКІІ прослеживается кровля ССКІІІ его мощность изменяется от первых метров до 5-10 и до 20-25 м. Отложения ССКІІ ассоциируются с аллювиально-морскими позднеплейстоценовыми (сарганскими) песками и суглинками (mQ_3^4). На большей части территории освещение разреза ССКІІ минимально из-за широкого развития газонасыщения разреза либо, по-видимому, песчанистого и/или мерзлого характера отложения. Акустический сигнал проникает в отложения комплекса на небольших участках на максимальную глубину до 25-30 м от поверхности дна.

В нижней части освещенного сейсмоакустическим профилированием разреза залегают отложения ССКІІІ. Они выступают акустическим фундаментом и блокируют проникновение акустического сигнала. На разрезах акустического профилографа кровля ССКІІІ залегают на глубинах от первых метров до 25-29 м от поверхности дна. Кровля ССКІІІ трассируется на отдельных участках и представляет собой сложно построенную систему волнообразной геометрии. Длина «волны» погребенного рельефа колеблется от 150 до 200-250 м с амплитудой от 5-7 до 13-15 м в центральной части полигона и до 3-6 м в его западной части. Данные бурения на полигоне «Диапиры» [Бондарев и др., 2002] показывают, что на отдельных участках кровля ССКІІІ может быть приурочена как к кровле казанцевской толщи (mQ_3^{1-3}), так и к участкам скопления газа в зырянских песках (aQ_3^4).

В рельефе полигона выделяется 251 ППФ высотой от менее метра до 16-18 м. Их морфометрические параметры приведены в таблице ниже. Высоты ППФ распределены достаточно равномерно: на каждый из диапазонов высот в промежутке от 0 до 12 м приходится от 13% до 16% форм. Коэффициент корреляции между высотой и площадью форм слабый $R^2=0,23$. У ППФ на полигоне наблюдается преобладание северной и южной экспозиции у наиболее крутых склонов. Максимальная крутизна на склонах северной и северо-северо-восточной экспозиции наблюдается у 29% ППФ, южной и юго-юго-западной – у 27%. При этом длинные оси форм обладают ориентировкой восточных, ВЮВ и ВСВ румбов, которые составляют 64%.

ППФ, как правило, выстраиваются в цепочки и группы. Только 36 из 251 ППФ — это одиночные образования, в значительном радиусе от которых других ППФ нет. Преобладают формы с куполообразной формой поперечного профиля (181 из 251), 36 форм обладают конусовидной формой. Отмечено 3 формы с кратером в верхней части и 29 форм типа «усеченный конус». В южной части полигона отмечено три крупных и четыре более мелких массива ППФ, образующих линейные постройки длиной до 1,5-2 км, шириной до 150-250 м и простирающихся либо в северо-западном, либо в субширотном направлении.

На полигоне установлено 1594 газопроявления, представленные образованиями типа «факел». Пораженность пройденных на полигоне съемочных профилей газопроявлениями порядка 88%. Среди 251 закартированных ППФ съемочными профилями пересечено 125 шт. (49,8%), среди них над 102 шт. (81,6%) были зафиксированы газопроявления. Газопроявления группируются в три кластера – северный, наименее выраженный, центральный и южный, где сосредоточено наибольшее их число и плотность их максимальна на наибольшей площади. Они также формируются локальные скопления по площади полигона и зону широкого площадного развития факелов в ложбине вдоль западного края полигона. Участки газонасыщения грунтов в разрезах в целом воспроизводят картину распределения газопоявлений. Максимальное их развитие со сплошным



бланкированием разреза на значительных по площади участках характерно для южного, наиболее выраженного кластера газопроявлений (Рисунок, В).

Таблица – Морфометрические параметры ППФ полигона

Параметр	Значение	Параметр	Значение
Площадь		Высота	
Мин. площадь (м ²)	732	Мин. отн. высота (м)	0.4
Ср. площадь (м ²)	7988	Ср. отн. высота (м)	6.9
Макс. площадь (м ²)	48080	Макс. отн. высота (м)	17.9
Длина		Крутизна склонов	
Мин. длина (м)	32	Мин. крутизна (°)	1,8
Ср. длина (м)	108	Ср. крутизна (°)	15,7
Макс. длина (м)	426	Макс. крутизна (°)	46,1
Ширина			
Мин. ширина (м)	27,7		
Ср. ширина (м)	84		
Макс. ширина (м)	197,8		

В рельефе дна и в рельефе подошвы ССКІ прослеживаются два типа морфоскульптур взаимно дополняющих друг друга. Это впадины и разделяющие их поднятия преимущественно северо-западного простирания. В западной части полигона поднятия слабо выражены в рельефе в виде валообразных пологих поднятий шириной до 500-800 м, длиной до 1,5-1,8 км и высотой в рельефе дна до 3-4 м, с этими образованиями соседствуют аналогичные по размерам впадины. На поднятиях мощность ССКІ сокращается до околонулевой, во впадинах она растет до 5-10 м. В центральной части полигона на участке развития ППФ во впадинах мощность осадков ССКІ может достигать 20-30 и более м. На поднятиях его мощность не превышает 2-4 м в осевых частях. За исключением западной части полигона эти формы не прослеживаются в рельефе дна, но хорошо выражены в рельефе подошвы ССКІ. К впадинам приурочены зоны газонасыщения и в большинстве случаев, газопроявления. На склонах поднятий располагаются ППФ. Отдельно необходимо отметить ложбину вдоль западной окраины полигона: в ее пределах наблюдается равномерно возрастающая в западном направлении мощность отложений ССКІ и высокая плотность газопроявления и ареалов газонасыщенных осадков, ППФ в границах ложбины нет.

Наряду с флюидогенными формами для полигона характерны эрозионно-аккумулятивные формы, связанные с деятельностью течений. Это аккумулятивные тела, выраженные в рельефе дна пологими поднятиями с мощностью отложений ССКІ до 4-6 м, облекающие поднятия кровли ССКІІ или залегающие на выровненной поверхности отложений ССКІІ. В северной части полигона они протягиваются в северо-западном направлении, в западной части - в субширотном направлении. Вдоль восточного края полигона наблюдается система уступов субширотного направления высотой до 1-2 м и крутизной до 3-4°. В этой части полигона мощность ССКІ менее 2 м, либо он полностью размыт.

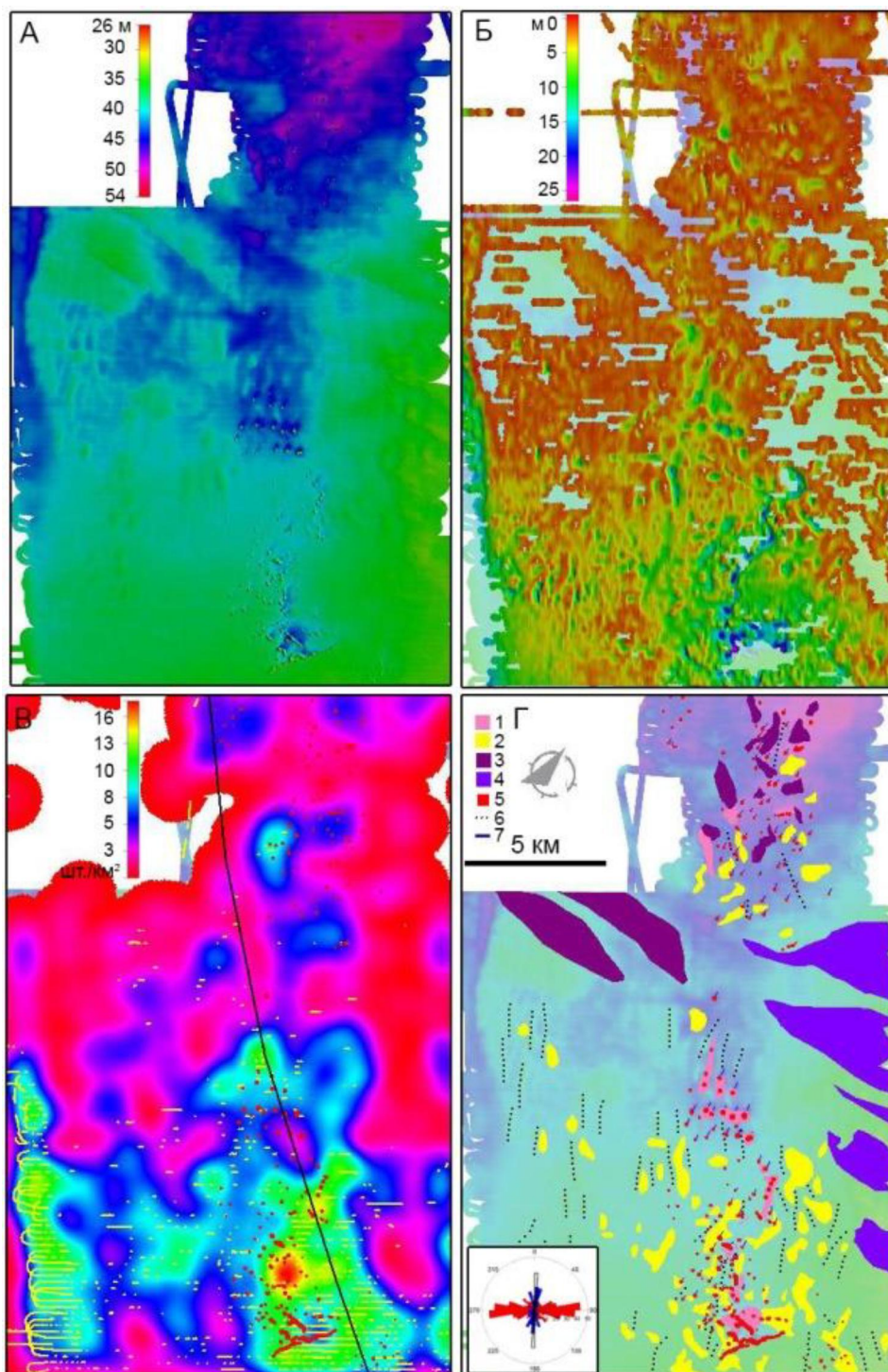


Рисунок. А – рельеф дна полигона. Б – глубина залегания подошвы отложений ССКИ, В – плотность газопроявлений, красным показаны ППФ, желтым – участка газонасыщения в разрезах, черной линией – разломное нарушение по данным [Вискунова и др., 2003], Г – схема элементов рельефа дна полигона, во врезке показаны ориентировки длинных осей ППФ (красным), ориентировки участков с максимальной крутизной склонов ППФ (синим), ориентировки удлинённых впадин течениевого размыва (черным).

Цифрами на рисунке обозначены: 1 – впадины с высокой мощностью ССКИ выраженные в рельефе дна, 2 – то же что и 1, не выраженные в рельефе дна, 3 – эрозионно-аккумулятивные формы, 4 – участки развития эрозионных уступов, 5 – ППФ, 6 – оси поднятий, 7 – оси впадин течениевого размыва

Для полигона, в отличие от аналогичных форм полигона «Диапиры» [Кохан и др., 2023] не характерны округлые компенсационные впадины полностью окружающие ППФ. На изученном полигоне наблюдаются удлиненные впадины к северу и северо-востоку от ППФ. Их длина составляет от 50-70 до 300-500 м, относительная глубина - до 2-4 м. Характерно, что. Впадины ориентируются в северном и северо-восточном направлении. К югу от ППФ отмечаются снивелированные накоплением отложений ССКІ впадины. Генезис этих понижений может быть связан с воздействием субмеридиональных течений, берущих свое начало от устья Печоры. ППФ, вероятно, перехватывают влекомые течением осадки с южной стороны, что приводит к активизации размыва к северу от них. Длинные оси ППФ ориентированы на полигоне преимущественно субперпендикулярно простиранию впадин, а наиболее крутые склоны сосредоточены в северных и южных частях ППФ (см. выше). Схема элементов рельефа дна представлена ниже (Рисунок, Г).

Заключение

Рельеф дна полигона представляет собой результат взаимодействия процессов течениевого размыва и аккумуляции с одной стороны и флюидогенных (и в том числе, возможно мерзлотных) процессов с другой стороны. Первые приводят к накоплению аккумулятивных тел по всему полигону, общей нивелировки реликтового доголоценового рельефа и размыву с подветренной стороны ППФ на участках удлиненных впадинах (общее направление течения с юга). Часть материала откладывается с флангов ППФ, что приводит к удлинению в субперпендикулярном простиранию удлиненных впадин направлению. Таким образом, ППФ полигона, по-видимому, являются комплексными формами, частично сложенными осадками ССКІ благодаря течениевым процессам, частично – отложениями ССКІІІ благодаря флюидогенным процессам.

Часть понижений доголоценового рельефа нивелированы осадконакоплением. Для другой части характерно активное осадконакопление с мощностями ССКІ до 29 и более м, в их границах осадки, как правило, насыщены газом, на поверхности широко развиты газопроявления, такие впадины выражены в рельефе и, по-видимому, их проседание слабо нивелируется осадконакоплением. Впадины разделяются поднятиями сложенными отложениями ССКІІ с частично или полностью эродированными отложениями ССКІ и скоплениями ППФ и газопроявлений.

Описанные выше формы группируются в цепочки и скопления либо ориентируются по направлению СЗ-ЮВ и СВ-ЮЗ, что может быть связано с доголоценовым термокарстовым рельефом. Осевая часть полигона с наиболее активными проявлениями дегазации и ареалом развития ППФ приурочена к разломному нарушению, трассируемому по данным листа государственной геологической карты [Вискунова и др., 2003].

Мы предполагаем, что формы рельефа дна обследованного полигона представляют собой активные образования, иначе они были бы снивелированы течениевыми процессами.

Работа поддержана грантом РФ № 22-77-10091.

Список литературы:

1. Бондарев В.Н., Рокос С.И., Костин Д.А., Длугач А.Г., Полякова Н.А. Подмерзлотные скопления газа в верхней части осадочного чехла Печорского моря // Геология и геофизика. – 2002. – Т. 43. – № 7. – С. 587–598.
2. Вискунова К.Г., Каленич А.П., Маркина Н.В., Шкарубо С.И. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба



1:1000000 (второе поколение). Западно-Сибирская серия. Лист R-38-40. Карта полезных ископаемых и прогноза нефтегазоносности. СПб.: ВСЕГЕИ. 2003.

3. Денисова А.П. Флюидогенный рельеф шельфа Баренцева и Карского морей. Магистерская диссертация. МГУ им. М. В. Ломоносова. Географический факультет. Кафедра геоморфологии и палеогеографии. 2024. 140 с.
4. 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 // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. Геогр. – 2023. – Т. 78. – № 3. – С. 110–130.