УДК [551.46+574.5](063)

ББК 26.221я431+26.38я431+28.082.40я431

Т78

Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» Том III (III): [сборник]. Тверь: ООО «ПолиПРЕСС», 2021, 446 с.: ISBN 978-5-6047776-1-9.

Сборник «Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)» представляет собой книгу тезисов докладов участников конференции, состоящую из трех томов. Сборник включает в себя главы, соответствующие основным секциям технической программы конференции: океанология, гидрология, морская геология, морская биология, геофизические исследования на акваториях, рациональное природопользование и подводное культурное наследие. Помимо основных секций на конференции были представлены секция научно-популярных фильмов и круглый стол "Плавучие университеты России: новый виток развития", отдельный день работы конференции был отведен под международные сессии с участием ведущих иностранных ученых из Англии, Бельгии, Шотландии, США.

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

ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова».

РФ, 119234, г. Москва, ул. Ленинские Горы, д. 1, стр. 77

(495) 648-65-58/ 930-80-58

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

© ООО «Центр морских исследований МГУ имени М.В. Ломоносова», 2021
© ООО «ПолиПРЕСС»

УДК 551.462

ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ПИНГОПОДОБНЫХ ФОРМ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАРЕНЦЕВА МОРЯ (ПО МАТЕРИАЛАМ 38-ГО И 41-ГО РЕЙСОВ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»)

GEOMORPHOLOGY OF PINGO-LIKE STRUCTURES OF THE SOUTH-EASTERN PART OF THE BARENTS SEA (BY RESULTS OF LEGS 38 AND 41 OF R/V “AKADEMIK NIKOLAY STRAKHOV”)

Кохан А. В.[1], Денисова А.П.[2], Мороз Е. А[3], Сухих Е.А.[3], Зарайская Ю.А.[3], Разумовский А.А[3]

[1]ООО Сварог, Москва; [2]МГУ им. М.В.Ломоносова, Географический факультет, Москва; [3]Геологический Институт РАН, Москва

Kokhan A.V.[1], Denisova A.P.[2], Moroz E.A.[3], Sukhih E.A.[3], Zarayskaya Yu.A.[3], Razumovskiy A.A.[3]

[1]Svarog LLP, Moscow; [2]MSU Faculty of Geography, Moscow; [3]Geological Institute of RAS, Moscow

Введение

Подводные пингоподобные формы (pingo-like features) представляют собой малоизученный геолого-геоморфологический феномен. В юго-восточной части Баренцева моря в ходе работ по научной программе 38 и 41-го рейсов НИС «Академик Николай Страхов» на полигоне, где развиты такие формы, были проведены комплексные геолого-геофизические работы, включавшие многолучевое эхолотирование, сейсмоакустическое профилирование акустическим профилографом и источником спаркер. Целью исследования был анализ строения рельефа дна и верхней части осадочного чехла на основании ЦМР дна в разрешении 10х10 м и сейсмических данных. По результатам работ были сформированы предварительные представления о геоморфологическом строении полигона работ.

Данные и методы

Работа основывается на батиметрических и сейсмических данных полученных многолучевым эхолотом SeaBat 8111, профилографом EdgeTech 3300 и системой непрерывного сейсмопрофилирования. Съемка была выполнена на полигоне в центральной части Печорского моря площадью около 50 км^2. Сбор данных осуществлялся одновременно. По результатам сбора и обработки данных была сформирована цифровая модель рельефа дна полигона съемки и получен набор файлов сейсмических разрезов в формате SGY. Обработка сейсмических данных непрерывного сейсмопрофилирования выполнялась в программном пакете Radex, интерпретация данных профилографа и сейсмопрофилирования – в пакете SMT Kingdom. Наряду с оцифровкой сейсмических границ была выполнена регистрация газопроявлений в водной толще на сейсмических разрезах профилографа в максимальном усилении. Сводный анализ и интерпретация данных выполнялись в свободно распространяемом пакете QGIS.

Опубликованные сведения о геолого-геоморфологическом строении полигона работ

Полигон работ был впервые обследован в ходе работ АМИГЭ в 1988 год [Бондарев и др., 2002]. В ходе первичного обследования были обнаружены изометричные поднятия. В 1995-96 гг. были выполнены детальные работы включавшие бурение, сейсмопрофилирование и гидролокацию на площади 25 км^2.

По результатам бурения на полигоне и близлежащих участках дна Печорского моря разрез четвертичных отложений представлен грунтами следующих разновидностей. С поверхности дна залегают морские голоценовые илы (mH) мощностью до первых метров. Ниже по разрезу залегают морские верхнесартанские суглинки (mQIII^4) мощностью до 10 м

и нижнесартанские аллювиальные пески ($aQIII^4$) мощностью до 15-20 м. Верхнесартанские отложения подстилаются глинистыми сильнольдистыми морскими казанцевскими глинами и ледогрунтами ($mQIII^{1-3}$). Ниже залегают среднеплейстоценовые образованиями, представленные ледниковыми или ледово-морскими переуплотненными глинами и суглинками мощностью 30-50 м (g, gmQII). В основании четвертичного разреза представлены нижнеплейстоценовые аллювиально-морские отложения (amQI) мощностью 20-50 м и более песчаного состава. Многолетнемерзлые грунты были вскрыты в скважинах при глубинах моря 10-30 м. Кровля мерзлых грунтов залегает на глубине 20-30 м ниже поверхности дна. Установленная мощность мерзлой толщи составляет от 20 до 40 м. Распространение многолетнемерзлых льдистых грунтов носит островной характер. Непосредственно на полигоне кровля мерзлых грунтов располагается на глубинах 20-30 м ниже дна в верхнесартанской толще.

В результате бурения было установлено, что изометричные поднятия сложены казанцевскими пластичномерзлыми сильнольдистыми глинами, суглинками и ледогрунтами с содержанием льда, достигающим 50-90 % от объема и более. Изометричные поднятия прорывают вышележащую верхнесартанскую толщу в форме диапиров.

Результаты работ

Полигон располагается в границах абразионно-аккумулятивной равнины внешней части Печероморского шельфа с отметками глубин от 40 до 80-100 м, на участке полигона равнину в субмеридиональном направлении пересекает понижение относительной глубиной около 40 м и шириной по бровкам порядка 30 км. В крайней юго-западной части полигона понижение сужается и раздваивается с образованием останца, отраженного в рельефе полигона.

Глубины в границах полигона изменяются от 48 до 82 м (рис. 1). По материалам съемки в пределах полигона было выявлено 870 поднятий изометричной или удлиненной в плане формы. Высота их изменяется в диапазоне от первых метров до 30-35 м, размеры в плане – 35-40 до 150-200 м. На отдельных участках поднятия соединяются в удлиненные формы С-Ю и З-В ориентировки. Вершины поднятий преимущественно куполовидной формы, отдельные формы обладают кратеровидными впадинами в осевой части.

На полученных сейсмических данных сверху вниз были выделены три сейсмостратиграфических комплекса (ССК, рис. 2): залегающий с поверхности плащеобразно облекающий нижележащие отложения ССКI с хаотической высокоамплитудной записью мощностью от 1-2 м до 10-15 м (ассоциируется с морскими голоценовыми илами и верхнесартанскими суглинками (mH-QIII4); акустически слоистый ССКII мощностью от 5-10 до 20-25 м (ассоциируется с аллювиальными верхнесартанскими песками ($aQIII^4$); акустически непрозрачный ССКIII с кровлей, представленной сложно построенной системой отражений различной геометрии и сложным рельефом поверхности (ассоциируется с кровлей мерзлоты и/или кровлей мерзлых сильнольдистых казанцевских глин и суглинков ($mQIII^{1-3}$).

Отложения ССКI залегают во впадинах окружающих изометричные поднятия, плащеобразно облекают неровности рельефа кровли ССКII или формируют мощные накопления у западной и восточной границ полигона на склонах палеодолины. Отложения ССКII распространены на полигоне повсеместно за исключением участков изометричных поднятий, они интенсивно дислоцированы и облекают рельеф поверхности ССКIII. Отложения ССКIII с высокоамплитудным рельефом кровли формируют погребенные поднятия и обнажаются на поверхности дна в виде поднятий выраженных в рельефе дна.

По результатам комплексной интерпретации батиметрических данных и результатов сейсмических работ была сформирована следующая концепция геоморфологического строения полигона работ. В его составе выделяется 4 района (рис. 1). Район 1 представлен поверхностью останцов в осевой части палеодолины. В его рельефе выражены пологие формы пучения хаотично расположенные в плане, высотой 5-10 м и шириной до 300-400 м, связанные с пологими поднятиями кровли ССКIII (рис. 1). В границах района изометричные поднятия и газопроявления практически не встречены. Район 2 представлен поверхностью правого борта палеодолины.

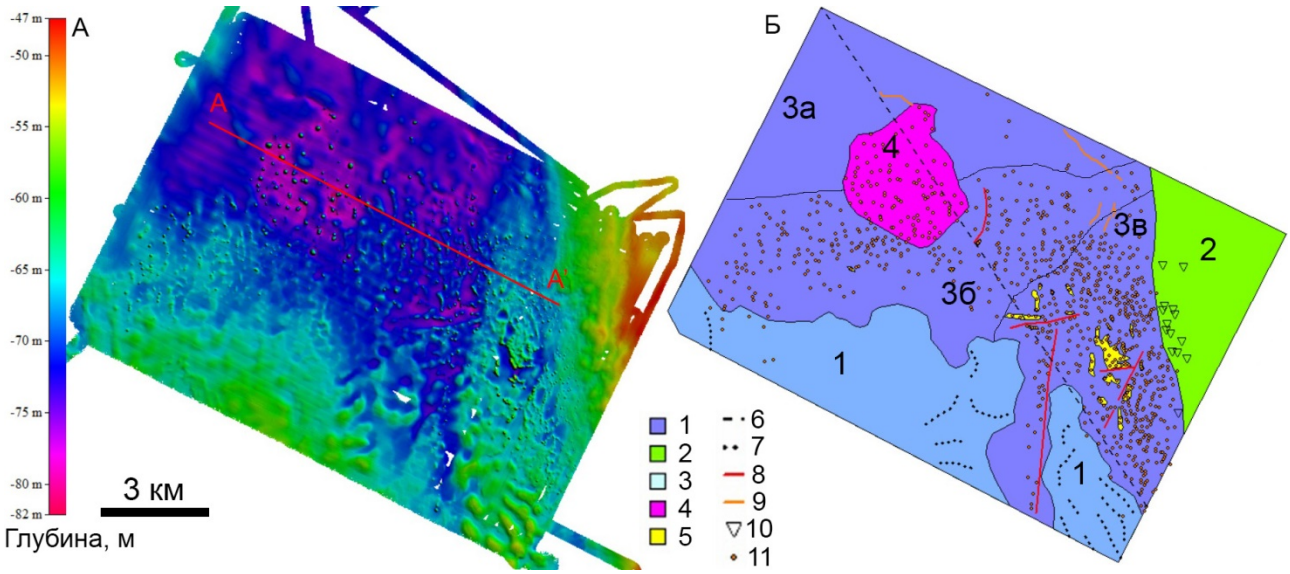

Рис 1. А – Рельеф дна полигона работ, Б – геоморфологическая схема. 1-4 – геоморфологические районы, 5 – крупные массивы отложений ССКIII, 6 – разлом, 7 – оси форм пучения, 8 – линейные скопления поднятий, 9 – эрозионные рвы, 10 – покформы, 11 – изометричные поднятия.

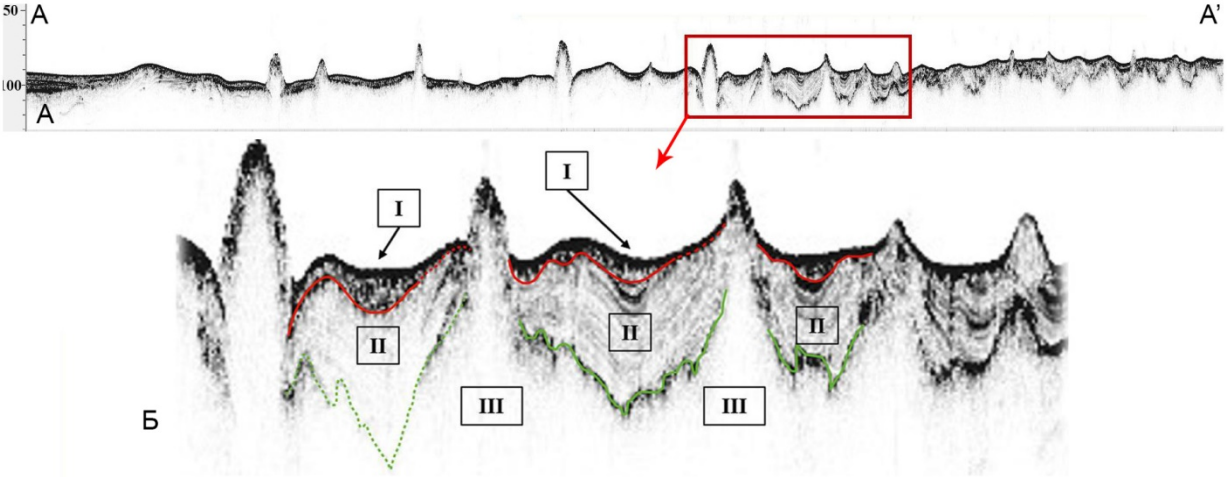

Рис. 2. Строение верхней части разрез по данным профилографа (частота сигнала 2-12 кГц, положение профиля показано красной линией на рис.1) по (Denisova, et al. 2020) с уточнениями . А – строение осадочной толщи, Б – разрез с выделенными отражающими горизонтами и номерами ССК.

Поверхность дна выровненная, встречаемость газопроявлений невысокая. Здесь наблюдаются единичные покформы в виде округлых впадин глубиной до 2-3 м и диаметром до 40-50 м (рис. 1). Район 3 занимает днище палеодолины и отличается широким развитием изометричных поднятий. На отдельных участках на поверхности дна обнажаются массивы отложений ССК3 удлиненной в плане формы (рис. 1). Для восточной части района (3в на рис. 1) характерно сочетание таких массивов и относительно небольших по размерам изометричных поднятий. Для центральной части района (3б на рис. 1) характерны наиболее крупные поднятия, в западной части района (3а на рис. 1) поднятия не встречаются. Наибольший их размер приурочен к переуглубленной впадине в северо-западной части полигона работ, выделенной в отдельный район 4 (рис. 1). В средней части полигона располагается надвиг СЗ-ЮВ простирания. Отдельные линейные тренды в распределении поднятий могут быть связаны с разломами, оперяющими надвиг. Повсеместно рельеф осложнен проявлениями аккумулятивно-эрозионной деятельности придонных течений вероятно преобладающего северного направления. Благодаря активности течений формируются аккумулятивные шлейфы с северного борта поднятий и эрозионные рвы во впадинах, прилегающих к ним и на выровненной поверхности дна (рис. 1).

На основании имеющихся данных можно предложить следующую концепцию строения и эволюции рельеф дна полигона, подтверждающую данные специалистов АМИГЭ [Бондарев и др., 2002]. В период предшествующий послеледниковой трансгрессии территория подстилалась мерзлой толщей значительной мощности. После трансгрессии и затопления территории началось растепление разреза грунтов и таяние мерзлоты снизу и сверху. В подмерзлотной части разреза накапливались термокаталитические газы, газы связанные с диссоциацией подмерзлотных газогидратов, и биогенный газ, связанный с активностью микроорганизмов в мерзлоте, тающей снизу. В определенный момент времени эти газы создали достаточное давление. В сочетании с растеплением вышележащего флюидоупора в виде казанцевских глин и суглинков это сделало возможным мобилизацию льдистых глинистых отложений на участках ослабленных зон и палеоталиков в массиве грунта. Мобилизация осадков в разрезе имела место не только непосредственно под формирующимися изометричными поднятиями в вертикальном направлении, но и латерально. Она происходила, в том числе, под литостатическим давлением толщ грунтов, перекрывающих казанцевские глины и суглинки. При этом в миграцию вовлекались тем большие массы осадков, чем выше была пористость, льдистость и проницаемость массива грунта на участке развития конкретной группы форм. Латеральная миграция осадков приводило к проседанию поверхности дна и последующему формированию новых ослабленных зон в массиве грунта и формированию групп из нескольких крупных поднятий и сопровождающих поднятия компенсационных впадин.

Полученные нами данные и опубликованные материалы [Бондарев и др., 2002; Paull et al., 2007; Shearer et al., 1971] позволяют классифицировать обнаруженные на полигоне поднятия как пингоподобные структуры (pingo-like structures). Формы на полигоне работ и на шельфе моря Бофорта обладают сходным строением и генезисом. Их происхождение, по-видимому, связано с процессами в верхней части чехла четвертичных отложений, а именно «выжиманием» мерзлых грунтов к поверхности по ослабленным зонам (разломам, таликам и неоднородностям в массиве грунта). Неравномерность распределения поднятий может быть обусловлена локальными различиями в строении массива грунта. Необходимо отметить, что предварительная оценка газопроявлений на полигоне работ показала их наличие на подавляющем большинстве поднятий. Характер, механизм и объемы газа поступающего в водную толщу (биогенный/термокаталитический/смешанный) неизвестен. Также неясным остается вопрос динамики форм. Пингоподобные поднятия интересны с точки зрения освоения Арктического шельфа, так как представляют опасность для сооружений и судоходства. С точки зрения анализа изменений климата важным является вопрос оценки объемов и характера газов, поступающих в водную толщу и атмосферу на участке полигона. Для дальнейшего прояснения природы поднятий и газопроявлений необходимы детальная газогеохимическая съемка и повторные съемочные и буровые работ.

Список литературы

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.

Denisova A.P. et al. Relief of degassing areas in the eastern part of the Pechora Sea. Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions. ISSN :2077-7841 (https://poac.com/Papers/2021/pdf/POAC21-013.pdf)

Paull C. K. et al. Origin of pingo-like features on the Beaufort Sea shelf and their possible relationship to decomposing methane gas hydrates // Geoph. Res. Lett.. – 2007. – V. 34. – L01603, doi:10.1029/2006GL027977.

Shearer J.M. et al. Submarine pingoes in the Beaufort Sea // Science. – 1971. – V. 174. № 4011. –P. 816-818.