

4. Kuzmitskiy, M., N. Ksenofontov, and I. Bazavluk. "Research opportunities and conditions for the development of the process of fatigue fracture elements of mechanical systems at the stage of education macrocracks." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 4(26) (2014): 68–74.
5. Kuzmickij, M. L., V. B. Chistov, N. M. Ksenofontov, Ju. A. Kiselev, V. M. Rjabchuk, and D. A. Bordijan. *Provedenie raschetnyh issledovaniy s analizom prochnostnogo sostojaniya i ostatochnogo resursa metallokonstrukcij avarijno-remontnyh vorot, verhnih rabochih vorot, nizhnih dvustvorchatyh vorot i remontnyh dvustvorchatyh vorot i zatvorov vodoprovodnyh galerej shljuzo № 17-18 Cheboksarskogo RGSiS i shljuzo №25-26 Balakovskogo RGSiS: Otchet o NIR (zakljuchitel'nyj)*; ruk. Kuz'mickij M.L. SPb.: FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S.O. Makarova», 2014.
6. Polonskij, G. A. *Mehaničeskoe oborudovanie gidrotehničeskikh sooruzhenij*. M.: Jenergija, 1974.
7. Beljaev, N. M. *Soprotivlenie materialov*. M.: Nauka, 1976.
8. Russian Federation. State standard. GOST R 53965-2010. Kontrol nerazrushajushhij. Opredelenie mehaničeskikh naprjazhenij. Obshhie trebovanija i klassifikacija metodov. M.: Standartinform, 2011.
9. Dubov, A. A. "Novye trebovanija k metodam i sredstvam diagnostiki naprjazhenno-deformirovannogo sostojaniya materialov." *Territorija NDT* 4 (2012): 52–56.
10. Berman, A. V., Ja.S. Vatuken, S. K. Korovin, K. M. Pervov, and V. K. Pervov. "Ocenka ostatochnogo resursa metallokonstrukcij gornyh mashin na osnove harakteristik nesushhej sposobnosti materiala." *Mining informational and analytical bulletin (scientific and technical journal)* 5 (2005): 220–228.
11. Nikitina, N. E. "Akustouprugost i ee primenenie dlja izmerenija naprjazhenij v krupnogabaritnyh konstrukcijah." *Vestnik nauchno-tehničeskogo razvitiya* 2 (2009): 41–46.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*Кузьмицкий Михаил Леонидович* —  
доктор технических наук.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
*kuzmitskiymfspbuwc@mail.ru*  
*Ксенофонтов Николай Михайлович* — аспирант.  
Научный руководитель:  
*Кузьмицкий Михаил Леонидович*.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
*ksen\_nm@mail.ru*  
*Чистов Валентин Борисович* —  
доктор технических наук, профессор.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С. О. Макарова»  
*kaf\_sopromat@gumrf.ru*

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Kuzmitskiy Mikhail Leonidovich* —  
Dr. of Technical Sciences.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
*kuzmitskiymfspbuwc@mail.ru*  
*Ksenofontov Nikolai Mikhailovich* — postgraduate.  
Supervisor:  
*Kuzmitskiy Mikhail Leonidovich*.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
*ksen\_nm@mail.ru*  
*Tchistov Valentin Borisovich* —  
Dr. of Technical Sciences, professor.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
*kaf\_sopromat@gumrf.ru*

Статья поступила в редакцию 13 октября 2015 г.

УДК 574, 528.422

Е. Н. Колосков

### ВЗАИМОСВЯЗЬ ГИДРОГРАФИИ И ГЕОЭКОЛОГИИ В КОНТЕКСТЕ ГЛОБАЛЬНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ В АРКТИЧЕСКИХ МОРЯХ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЯ

Рассмотрены вопросы использования гидрографических информационных технологий для исследования микрорельефа арктических морей и дальнейшее обоснование на основе этих данных глобальных климатических изменений. Отмечается, что современная гидроакустическая аппаратура предоставляет

широкие возможности для получения не только детальной топографии дна, но и дополнительной информации, показывающей структуру верхней части разреза донного грунта и наличие объектов в придонной водной толще. При этом возникает возможность не только наблюдать морфологические особенности рельефа, но и получать информацию, открывающую новые перспективы изучения дна средствами гидроакустики в рамках различных направлений морской деятельности, включая морскую экологию. Основное внимание уделено вопросам последствий глобального изменения климата и его влияния на донный грунт. Показано проявление термокарстовых процессов, способных создавать угрозу сохранности трубопроводных магистралей и любых иных подводных коммуникаций. Рассмотрены особенности арктического подводного микрорельефа, включая борозды, оставленные на грунте стамухами, и положительные формы в виде куполообразных возвышений. Такие уникальные формы микрорельефа, обнаруженные недавно с использованием новейших гидроакустических средств, как правило, приурочены к донному газопроявлению в форме метановых факелов от субмаринных газогидратов.

*Ключевые слова:* гидрографические информационные технологии, геоэкология, морфологические особенности рельефа, арктические моря, термокарстовые процессы, донное газопроявление, субмаринные газогидраты.

**В** НАСТОЯЩЕЕ время мировым научным сообществом отмечается изменение климата на планете в сторону его потепления. Полагают, что за последние сто лет Земля потеплела на 0,8 °С, причем значительная часть процесса наблюдалась в течение последних трех десятилетий XX в. Анализ долгосрочных климатических рядов выявил наличие заметных климатических изменений в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Так, например, в Карелии рост температуры приземного воздушного слоя составил + 0,2 °С за 100 лет (1900 – 2000 гг.). Из них за последние 50 лет этот процесс явно усилился, и данный показатель достиг величины + 0,6 °С. Исследованиями, проведенными в южной части Западной Сибири, в бассейне Верхней Оби, было обнаружено повышение среднегодовых температур воздуха, начиная с середины 30-х гг. XX в. Характерно, что интенсивное потепление происходило именно в зимние периоды, когда средние фиксированные значения температур повысились почти на три градуса [1].

Согласно одной из основных версий, климат планеты в значительной степени зависит от количества в атмосфере свободного углекислого газа. В случае пополнения воздушной среды этим химическим соединением в атмосфере усиливается парниковый эффект. Природный механизм устранения из атмосферы свободного углекислого газа приведен в работе [2]. Находясь в связанном состоянии, углерод становился основополагающим элементом при формировании колоссальных запасов горючих ископаемых и служил главной составной частью карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) — исходного материала для коралловых рифов, атоллов, известковых островов и др. Однако в течение последних десятилетий в атмосфере неожиданно стал наблюдаться процесс обратного характера, когда концентрация свободного  $\text{CO}_2$  в воздухе начала заметно возрастать. Большинство специалистов увидели в этом техногенную причину. Действительно, сжигание человеком топлива и горючих материалов вносит ежегодно в атмосферу не менее  $1 - 10^{10}$  т углекислого газа, что вызывает *биотехногенный эффект* [2]. Как считают многие исследователи, данная тенденция может оказать влияние на характер земного климата в сторону его потепления.

С экологической точки зрения особую опасность при таянии полярных льдов, как следствии данного процесса, могут представлять разрушения так называемых *клатратов* — кристаллических каркасов во льду, полости которых заполнены молекулами метана ( $\text{CH}_4$ ), относящегося параллельно с  $\text{CO}_2$  к категории тепличных газов. По мере предполагаемого таяния высвобождающийся из ледовых полостей метан будет поступать в атмосферу в несоизмеримо более значимых количествах, в отличие от всех искусственных источников, вместе взятых. Кроме того, следствием глобального потепления с большой долей вероятности могут стать изменения в характере рельефа земной поверхности. Особенно это касается высокоширотных районов планеты, скованных с вечной мерзлотой. В пределах акватории арктического шельфа, ещё задолго до публичного обсуждения климатической тематики, регулярно обнаруживались колебания отметок донной поверх-

ности. На морском дне выявлялось повсеместное развитие депрессивных участков. Так, в мелководной зоне моря Лаптевых (диапазон глубин 2 – 5 м), к примеру, амплитуды таких деформаций достигали 0,8 м.

Последующий анализ многолетней серии арктических промеров (1923 – 1965 гг.) позволил прийти к выводу о том, что подобные процессы достаточно разнообразны по своим масштабам: в одних точках это малозаметные микроопускания, в других местах — солидные депрессии, измеряемые в длину первыми километрами и сопровождаемые просадками величиной до 4 м [3]. В то время данный феномен вызывал исключительно навигационный интерес, поскольку создавал проблемы, связанные с быстрым «старением» морских навигационных карт арктических морей. Примечательно, что подобные явления наблюдались в районе малой сейсмической активности и с относительно спокойным волновым режимом. Таким образом, сейсмическую составляющую в качестве причин обнаруженной нестабильности правомерно сразу исключить, поскольку рельеф в указанном месте не относится к формам, свойственным сейсмически активным фрагментам земной коры. В тектоническом смысле рассматриваемая геологическая провинция относится к платформенному типу со слабыми (эпейрогеническими) колебаниями земной поверхности. Известно, что в современную эпоху новейшие тектонические процессы в пределах этого региона проявляются в форме плавного опускания земной коры со скоростью, примерно равной 11 мм за столетие. Минусовая направленность эпейрогенического цикла при этом может послужить дополнительным благоприятствующим фактором, поскольку она оказывает влияние на волновую базу, ослабляя воздействие на дно внешних проявлений иного, гидрогенного, свойства. Вместе с тем уровень развития гидрографических технологий того времени не позволял получать детальную площадную информацию о подводном рельефе, дающую возможность надежно отслеживать его динамику и получать надежную количественную информацию.

Отличительной особенностью криолитозоны является сингенетический тип мерзлоты, подразумевающий ритмическое распределение в толще грунта полигонально-жильных льдов (в том числе на морском дне и в устьевых участках северных рек). Однако в грунтовых толщах периодически обнаруживаются цельные линзы погребённого ископаемого льда. В процессе годового хода температур возникает *эффект неравномерного сезонного протаивания отдельных ледовых тел*. Летом, когда прибрежные воды прогреваются до положительных температур по всей водной толще, на границе прогретых вод и мёрзлых пород создаётся высокий температурный градиент, который обуславливает большую теплоотдачу и, как следствие, интенсивное протаивание [4], [5]. Подобные явления сопровождаются поверхностной деформацией рельефа в виде бугров пучения, провалов, западин и аласов (плоских понижений). Скорее всего, температурный фактор и служит в данном случае причиной формирования особого мерзлотного ландшафта, известного как *термокарст*. Процесс этот может быть усилен и даже спровоцирован искусственным путём, когда во время прогонки масс нефтяного субстрата под водой происходит нагрев магистральной трубы, что создаёт *эффект «тёплого крота»*, т. е. её проседания в грунт. Именно мерзлотные деформации служат одной из серьёзных угроз целостности и герметичности трубопроводных ниток и, соответственно, безаварийной работы в момент транспортировки углеводородного сырья. Всё это обуславливает высокую степень эксплуатационного и экологического риска именно в зоне арктического шельфа [6].

В работах [7] – [10] отмечается, что современные средства и методы выполнения гидрографических исследований существенно изменились благодаря внедрению технологии гидроакустических измерений, спутниковых средств позиционирования, портативной вычислительной техники, а также появлению программного обеспечения трехмерной визуализации. Одновременно появление информационных технологий позволило существенно повысить объемы собираемой батиметрической информации.

Ведущей тенденцией в современной морской инженерной гидрографии является применение многолучевых эхолотов (МЛЭ). Появился новый класс мелководных МЛЭ, управляемый сек-

тором излучения [7], [8], работающих на глубине до 150 – 200 м с диапазоном частот 200 – 400 кГц и использующих линейно-частотную модуляцию акустического сигнала.

МЛЭ последнего (пятого) поколения, выпускаемые ведущими зарубежными фирмами, обеспечивают выдачу следующей информации: батиметрические данные (трехмерные координаты точек морского дна), сонарное изображение (информация интенсивности обратного рассеивания), а также изображение объектов в водной толще.

В отличие от ранее использовавшихся методов представления рельефа дна в виде отдельных отметок глубин, получаемых по данным однолучевых эхолотов, при применении МЛЭ объем батиметрической информации получается при использовании этого оборудования настолько, что возникает необходимость применения батиметрических цифровых моделей рельефа дна (ЦМРД). Как известно, реализация ЦМРД возможна на основе регулярных сеток (гридов) и нерегулярных триангуляционных сеток TIN [7]. Применение электронной гидрографической информационной системы (ЭГИС) позволяет собирать и обрабатывать батиметрическую информацию в целях оперативной визуализации ЦМРД. Однако окончательное формирование ЦМРД осуществляется на этапе постобработки.

В мелководном море (глубины до 100 м) современная электронная гидрография обеспечивает возможность получения цифровых моделей подводного рельефа с точностью, соизмеримой с цифровыми моделями суши. При использовании современных МЛЭ возникает возможность наиболее наглядного представления результатов батиметрической съемки. Для традиционной гидрографической деятельности планшеты, как правило, принято готовить в масштабах не крупнее 1:10 000, что вполне удовлетворяет нуждам морской навигации при создании навигационных морских карт. В случае выполнения инженерных задач, доля которых в силу народнохозяйственных и коммерческих запросов в современных условиях постоянно увеличивается, масштабы отчетных планшетов должны быть, наоборот, не менее 1 : 5000. Конечных потребителей чаще всего интересуют именно детали микрорельефа, которые могут быть отображены *исключительно* в крупномасштабном формате. При этом, к сожалению, информация, представляемая в традиционном плоском варианте изображения (2D) плохо воспринимается, порой, даже специалистами. Отсюда использование материалов, наносимых на бумажные или электронные 2D- планшеты, не позволяет наглядно и эффективно решать задачи мониторинга подводного рельефа.

Существуют специальные пакеты программ — 3D-представления результатов гидрографических работ, одной из которых является пакет программ «Fledermause» (фирмы QPS, Голландия) [9]. Изображения в формате 3D обладают детальностью и объёмностью, что позволяет воспринимать изображение форм микрорельефа на уровне опознавания образа и осуществлять оценку тех или иных проявлений на поверхности скрытого под водой ландшафта.

Появление новых возможностей в технологии выполнения гидрографических работ с изображением трёхмерных моделей создаёт благоприятную ситуацию для разработки новых направлений в области природопользования, в том числе геоморфологической направленности. Исключительно важным также является возможность получения 4D-изображений, где дополнительным (четвертым) измерением служит установленная шкала времени.

На рис. 1 приведены цифровые модели дна на бере Обской губы (глубины 13 – 15 м). Представленный материал получен по данным съемки рельефа упомянутых ранее мелководных МЛЭ с частотой акустического сигнала 300 кГц. При анализе этого материала обнаруживаются на дне эрозионные борозды с относительными глубинами в 1 – 2 м. Предположительно они являются результатом *подвижки стамух* (глыб подвижного донного льда), так называемой *экзарации* (от лат. *exaratio* — выпаживание). При внешнем воздействии льда на поверхности дна, состоящей из рыхлых осадочных пород, образуются борозды или штрихи [9]. Здесь речь идёт уже не об указанном ранее температурном факторе, а о причинах *деструктивно-механического* свойства. Данное обстоятельство в плане безопасности требует к себе не меньшего внимания, чем проявления термокарстовых процессов, поскольку оно способно создавать угрозу не только целостности трубопроводных магистралей, но и сохранности любых иных подводных коммуникаций [10].

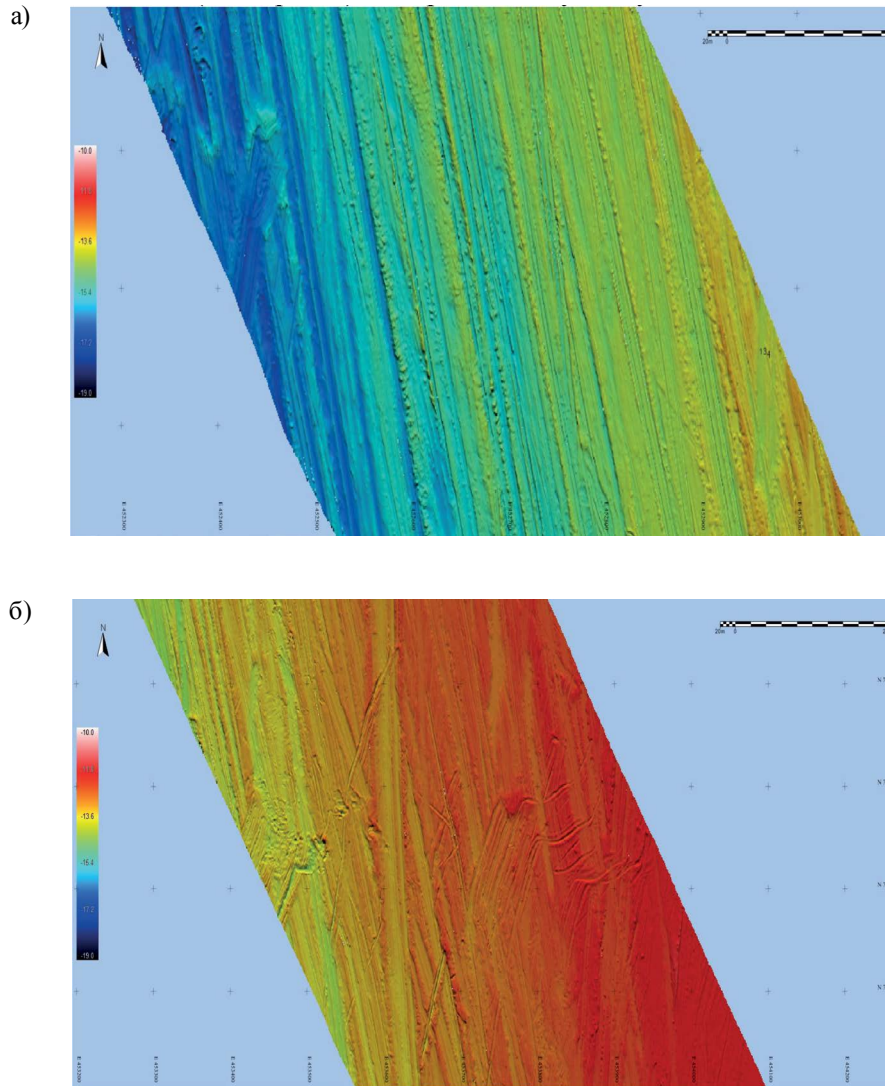


Рис. 1. Фрагменты моделей плоского морского дна с характерными бороздами на его поверхности (район Обской губы):  
а — модель 1; б — модель 2

Вопрос о воздействии ледовых образований на морское дно становится одним из наиболее приоритетных направлений в современной отечественной науке. Об этом свидетельствует работа С. А. Огородова в виде серии публикаций на данную тему [11]. Автор, в частности, обращает внимание на тот факт, что нижняя, корневая, часть ледового образования, как правило, выклинивается, приобретая форму кия. Таким образом, в процессе контакта дрейфующего ледового массива с дном на подстилающей поверхности «вычерчиваются» замысловатые рисунки в виде царапин или борозд. В случае многокилевой конфигурации днища торосистого образования структура борозд напоминает «гребёнку». Этот термин, официально введён в научную речь.

Возвращаясь к вопросу глобальных климатических изменений, следует также обратить внимание на указанные доктором геолого-минералогических наук А. Н. Портновым факты. В пределах суши Ямало-Ненецкого автономного округа были обнаружены при наблюдении из космоса глубокие западины, внешне напоминающие кратерные ячейки. Нижняя часть этих «колодцев» оказалась заполненной водой, а непосредственно у надводных горизонтов в пробах воздуха было зафиксировано повышенное содержание метана. По мнению А. Н. Портнова, происходит так называемая *метановая эксплозия*, связанная с планетарными изменениями климата, вызванная протаиванием и проседанием в тех или иных местах толщ вечной мерзлоты [12].

По материалам проводимых в мире геофизических съёмок в толщах морского дна помимо заполярной зоны солидные запасы  $\text{CH}_4$  (в связанном состоянии) были обнаружены и на других широтах. В виде твёрдых гидратов (соединений метана с водой) они были найдены в толще органических донных осадков во многих частях Мирового океана. Как следует из иностранных источников, запасы метана в форме газогидратов нередко обнаруживаются прямо на поверхности морского дна [10]. Поднятые со дна моря куски газогидрата внешне напоминают вываленные в грязи обломки льда, откуда следует, что это и есть лёд, но с высоким содержанием метана. По имеющимся оценкам, его запасы в глубинах океана весьма впечатляющие. Согласно некоторым данным, около 50 % всего имеющегося на Земле углерода заключено именно в этих гидратах.

Однако, если перевести проблематику в практическую плоскость, трудно представить себе возможность в ближайшем будущем появления соответствующих технологий по добыче описываемого энергоносителя в промышленных масштабах. Это представляется маловероятным, поскольку речь в данном случае идёт не о каких-либо локализованных в пространстве (точечных) источниках, а об обширных газогидратных полях.

Летом 2014 г. в процессе исследования юго-западной части акватории Карского моря с использованием МЛЭ EM2040CD (Kongsberg) было зафиксировано куполообразное возвышение над ровной поверхностью дна [13]. Правильный по форме куполообразный объект на ровном дне может вызывать сугубо геоморфологический интерес. Однако расположение данного бугристого образования совпало с местом выброса (эксплозии) из земных недр облака газовых пузырей. Явление зафиксировано непосредственно в режиме реального времени в виде точечного газового факела, а также наглядно представлено на фоне ЦМРД с помощью специализированного программного пакета «Fledermause» (рис. 2). Наивысшая точка этого образования соответствовала глубине 40 м, а его относительная высота (превышение над окружающим плоским дном) составила 30 – 40 м (рис. 3).

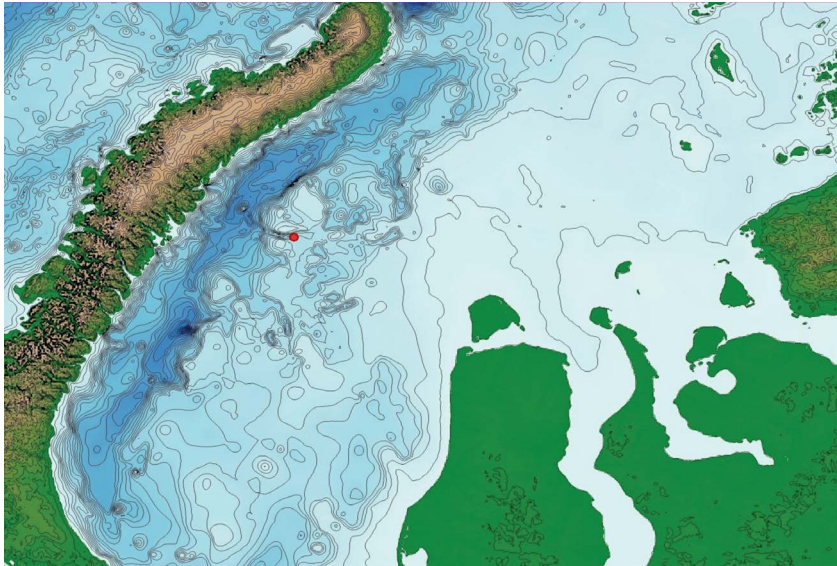


Рис. 2. Карта юго-западной части Карского моря (место обнаруженной эксплозии обозначено красным кружком)

Согласно имеющимся на сегодня материалам трудно определить, является ли акт газового проявления следствием каких-либо морфологических подвижек или, наоборот, обозначенная на рисунке выпуклость возникла в результате взрывных процессов. Обнаруженная форма внешне напоминает повсеместно распространённые в районах вечной мерзлоты (на суше) бугры пучения. Высота подобных бугров относительно окружающих равнин и может достигать 30 – 40 м. Их диаметр в нижнем сечении измеряется сотнями метров, а порой и первыми километрами. Однако в контексте разрабатываемой тематики речь идёт лишь о гидролакколитах.

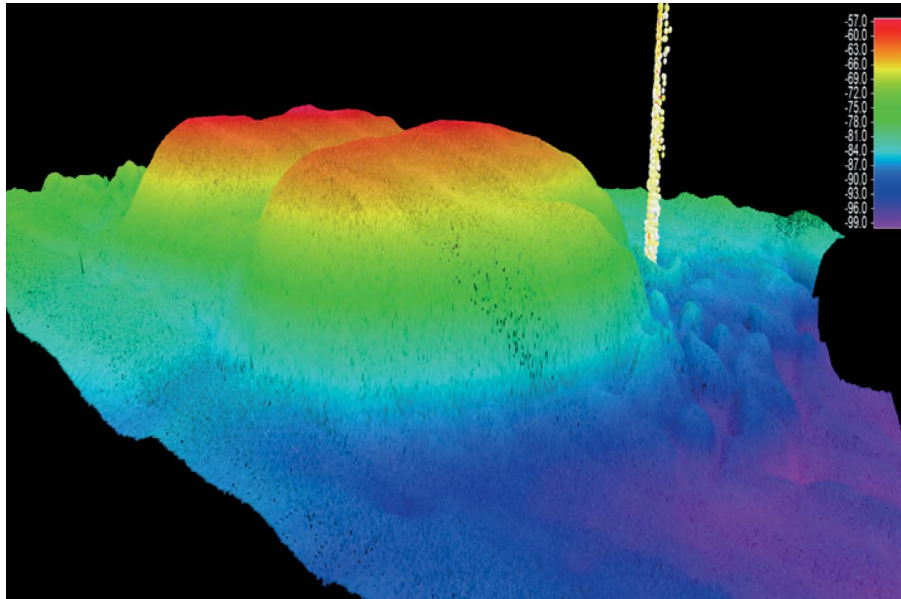


Рис. 3. Положительная форма подводного рельефа с эксплозией

Вулканическая деятельность на Земле, с характерными для неё положительными формами рельефа, относится к категории *эндогенных процессов*. Сюда же относят и особую разновидность вулканов, проявляющих лишь сольфатарную активность (выделение из недр горячих газов и воды). Исследуемое образование уже в силу своих линейных и морфологических характеристик генетически более подходит к категории гидролакколитов. Безусловно, рассматриваемый феномен хотя бы в сугубо научном плане может вызвать у специалистов тот или иной интерес. Но в конкретной публикации главным является не столько происхождение данного бугра, сколько факт пространственной привязки наблюдаемой точечной эксплозии к определённой форме рельефа. При более подробном изучении обнаруженной формы ближе к её основанию чётко просматривается ряд кольцевидных ячеек, напоминающих сквозные отверстия. Скорее всего, эти точечные углубления и служат каналами выхода газа, что, собственно, и подтверждается непосредственным актом газопроявления над жерлом одной из ячеек на момент съёмки (рис. 4).

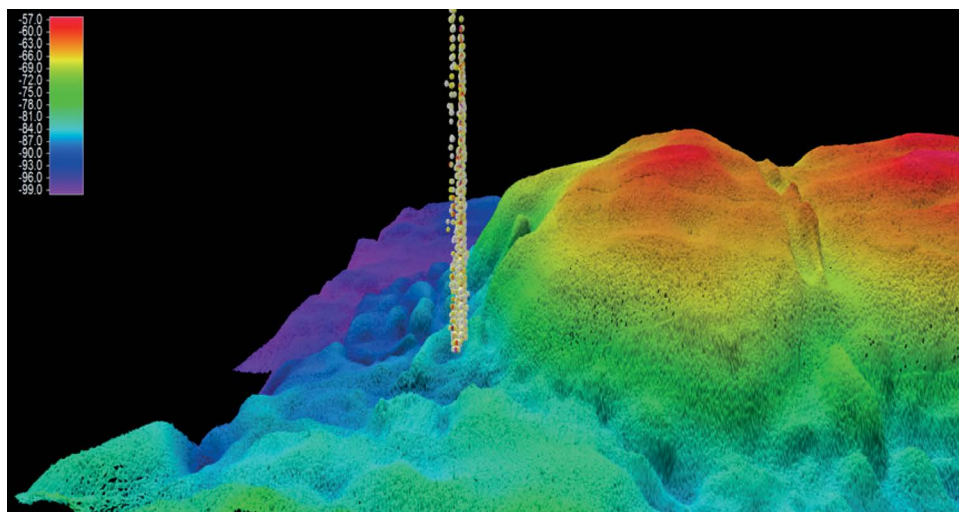


Рис. 4. Момент выброса газовой струи из толщи донных осадков

В случае, если подтвердится закономерность пространственной привязки очагов дегазации к конкретным подводным формам рельефа, вопросы поиска и разведки участков альтернативных

носителей энергии могут стать весьма актуальным научным направлением и хорошей инженерной перспективой. Именно локализованный (струйчатый) вариант газопроявления, по сравнению с его площадными формами, представляется наиболее доступным в плане реализации конкретных проектов по добыче газогидратов в промышленных масштабах [9].

По моему мнению, вероятнее всего, подобные локализованные очаги или хотя бы часть из них генетически приурочены к тем или иным формам подводного рельефа. При этом фактор газопроявления вряд ли относится к категории процессов экзогенного свойства, т. е. едва ли связан с глубинными процессами, происходящими в земной коре, в том числе с сульфатарным вулканизмом. В этом случае именно морфологический подход наряду с комплексом акустических измерений может оказаться решающим в определении методологии поиска и разведки промышленных залежей газогидрата. Как свидетельствуют данные, приведенные в иностранных источниках, из одного кубического метра твёрдого гидрата можно выделить до 164 м<sup>3</sup> газообразного метана. Газогидратное тело, как правило, представляет собой массивное образование, уходящее в толщу донных осадков на десятки и сотни метров. Поэтому в поисково-разведочный комплекс наряду с МЛЭ обязательно должен входить и акустический профилограф. Данный вопрос более подробно рассмотрен в работе [8].

Мировым сообществом газогидраты рассматриваются в качестве перспективной альтернативы современного топлива, причем недостаточно изученной. Интерес к изучению газогидратов природного происхождения в мире значительно возрос в течение последних двух десятилетий. В Арктике газогидраты в основном встречаются в относительно недоступных морских районах, что в перспективе будет значительно препятствовать их освоению ввиду отсутствия инфраструктуры для добычи и транспортировки газа. На данном этапе остро стоит вопрос организации именно поиска и разведки залежей газогидрата на дне арктических морей, которые могут осуществляться попутно с проведением любых исследовательских работ (включая и гидрографические) при наличии на борту судна комплекса гидроакустической аппаратуры. Развитие использования газогидратных энергоносителей в российской Арктике будет зависеть не только от научно-технических разработок, но и от социальных, экономических, экологических и политических соображений. Видное место занимает также необходимость сокращения выбросов парниковых газов.

В заключение необходимо особое внимание обратить на факт появления нового поколения гидроакустической аппаратуры, дающей возможность минимизировать экологические риски при освоении дна в условиях глобальных климатических изменений. Современный гидроакустический комплекс способен давать большой объем информации о морском дне в режиме реального времени. В период экспедиционных работ должна быть обеспечена регистрация максимального объема данных, способных после окончательной обработки дать новую комплексную информацию о состоянии и развитии морского дна. При помощи гидрографических технологий можно обнаруживать и прогнозировать дальнейшее проявления термокарстовых процессов, способных создавать угрозу сохранности трубопроводных магистралей и любых иных подводных коммуникаций.

Комплекс гидрографических работ с применением новейшего оборудования открывает перспективу целенаправленного поиска очагов концентрации газогидратных месторождений образованных в процессе глобальных климатических изменений. С тех пор как мировые запасы газогидратов стали считаться глобальным источником метана, к ним возник значительный интерес. Одновременно встал вопрос об их влиянии на климат, в частности, о влиянии метанового проявления в море на изменение уровня атмосферного и океанического потепления. Особый интерес представляет реакция глобальной климатической системы на значительное количество метана, освобождающееся из газогидратных резервуаров зон вечной мерзлоты. Эти вопросы еще недостаточно исследованы ввиду того, что изучение и разработка газогидратов в мире, в том числе в Арктике, ведется относительно с недавно. Следует констатировать, что в России вопросам поиска и разведки залежей газогидрата на дне арктических морей пока не уделяется должного внимания.



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гинсбург Г. Д. Субмаринные газовые гидраты / Г. Д. Гинсбург, В. А. Соловьёв. — СПб.: ВНИИ Океангеология, 1994. — 199 с.
2. Кожухов И. В. Электронная инженерная гидрография и перспективы получения новых данных по морфологии и геоэкологии арктических морей / И. В. Кожухов, Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 4 (32). — С. 95–103.
3. Ключев Е. В. Роль мерзлотных факторов в динамике рельефа дна полярных морей: автореферат диссертации / Е. В. Ключев. — Л.: ЛГУ, Географический факультет, 1967. — 14 с.
4. Исследование трассы трубопровода и экологической обстановки в Печорском море. Арктическое побережье России. — СПб.: Госниипас, 1997. — 119 с.
5. Кожухов И. В. Северный регион Российской Федерации как зона экологического риска и новый технологический этап освоения Арктики / И. В. Кожухов, Ю. Г. Фирсов, Н. Ю. Гордиенко // Эксплуатация морского транспорта. — 2013. — 2 (72). — С. 73–78.
6. Shakhova N. The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle / N. Shakhova, I. Semiletov, G. Pantelev // Geophysical Research Letters. — 2005. — Vol. 32. — Is. 9. DOI: 10.1029/2005GL022751.
7. Фирсов Ю. Г. Основы гидроакустики и использования гидрографических сонаров: учеб. пособие. — СПб.: Нестор-история, 2010. — 348 с.
8. Фирсов Ю. Г. Новые методы пространственной визуализации результатов инженерной батиметрической съемки / Ю. Г. Фирсов, И. В. Кожухов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 2 (24). — С. 17–23.
9. Колосков Е. Н. Применение современных гидрографических технологий для изучения рельефа и донного газопроявления в северных морях России / Е. Н. Колосков, Ю. Г. Фирсов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 3 (31). — С. 54–62.
10. Paull C. K. Seafloor geomorphic manifestations of gas venting and shallow subbottom gas hydrate occurrences / C. K. Paull, D. W. Caress, H. Thomas, E. Lundsten, K. Anderson, R. Gwiazda, M. Riedel, M. McGann, J. C. Herguera // Geosphere. — 2015. — Vol. 11. — Is. 2. — Pp. 491–513. DOI:10.1130/GES01012.1.
11. Огородов С. А. Рельефообразующая деятельность морских льдов: автореферат диссертации / С. А. Огородов. — М.: МГУ, Географический факультет, 2014. — 44 с.
12. Портнов А. Н. Опасные дыры Земли / А. Н. Портнов // Природа. — 2014. — № 11 (1191). — С. 94–96.
13. Фирсов Ю. Г. Новый этап батиметрических исследований северных акваторий России на примере Карского моря / Ю. Г. Фирсов, М. В. Иванов, Е. Н. Колосков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 115–124.

## THE INTERDEPENDENCE OF HYDROGRAPHY AND MARINE ECOLOGY IN THE CONTEXT ARCTIC SEAS CLIMATE CHANGE AND ITS CONSEQUENCES

*The study examines the implementation of modern hydrographic technologies for Russian northern seas micro relief investigations and using this data for the justification of global climate change.*

*The modern hydrographic equipment presented by multibeam echosounders and bathymetric side scan sonars provide the possibility to obtain not only the detailed seabed topography, but also the additional information concerning the structure of under bottom soil layers and presence of the endogenous objects in near bottom environment. This opens the new opportunities for investigation of the morphological relief peculiarities and getting the new information using the acoustic techniques for various types of marine activity including the marine ecology study. The main attention is paid to consequences of the global climate change and its influence on the bottom sole. The appearance of thermokarst activity is produced which provides the potential threat for underwater pipelines and other submarine communications.*

*The arctic bottom relief peculiarities are also covered including grounded hummock traces and dome-shaped elevations of the Pingo-type. The investigations of such bottom land form has become possible recently as the result of the wide swath survey methods. Such unique relief features are related to seafloor gas venting in the form of the submarine gas-hydrates seeps.*

*Keywords: hydrographic technologies, marine ecology, morphological relief peculiarities, bottom soil, arctic seas, hydro acoustics methods, submarine gas-hydrates, seafloor gas venting, pingo, thermokarst.*

## REFERENCES

1. Ginsburg, G. D., and V. A. Soloviov. *Submarinnie gazovie gidrati*. SPb.: VNII Okeangeologiya, 1994.
2. Kozhuhov, I. V., E. N. Koloskov, and Y. G. Firsov. "Electronic engineering hydrography and the prospects of obtaining new results on the morphology and bottom environmental conditions of the arctic seas." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 4(32) (2015): 95–103.
3. Klyuev, E. V. Rol merzlotnyh faktorov v dinamike relefa dna polyarnykh morej: abstract of diss. L.: LGU, Geograficheskij fakultet, 1967.
4. *Issledovanie trassy truboprovoda i ekologicheskoy obstanovki v Pechorskom more. Arkticheskoe poberezhe Rossii*. SPb.: Gosniioapas, 1997.
5. Kozhuhov, I. V., Y. G. Firsov, and N. Y. Gordienko. "Northern region of Russia as a zone of ecological risk and a new technologic stage in the Arctic exploration." *Jekspluatatsiya morskogo transporta* 2(72) (2013): 73–78.
6. Shakhova, Natalia, Igor Semiletov, and Gleb Pantelev. "The distribution of methane on the Siberian Arctic shelves: Implications for the marine methane cycle." *Geophysical Research Letters* 32.9 (2005). DOI: 10.1029/2005GL022751.
7. Firsov, Y. G. *Osnovy gidroakustiki i ispolzovaniya gidrograficheskikh sonarov. Uchebnoe posobie*. SPb.: Nestor-istoriya, 2010.
8. Firsov, Y. G., and I. V. Kozhuhov. "The new three dimensional visualization techniques for bathymetric engineering survey." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(24) (2014): 17–23.
9. Koloskov, E. N., and Y. G. Firsov. "Implementation of the new hydrographic technologies for bottom topography and seafloor gas venting investigations in the Russian northern seas." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 3(31) (2015): 54–62.
10. Paull, C. K., D. W. Caress, H. Thomas, E. Lundsten, K. Anderson, R. Gwiazda, M. Riedel, M. McGann, and J. C. Herguera. "Seafloor geomorphic manifestations of gas venting and shallow subbottom gas hydrate occurrences." *Geosphere* 11.2 (2015): 491–513. DOI:10.1130/GES01012.1
11. Ogorodov, S. A. Relefoobrazuyushchaya deyatelnost morskikh ldov: abstract of diss. M.: MGU, Geograficheskij fakultet, 2014.
12. Portnov, A. M. "Dangerous Holes in Earth." *Priroda* 11(1191) (2014): 94–96.
13. Firsov, Yu.G., M. V. Ivanov, and E. N. Koloskov. "The new stage of the Russian northern basins bathymetric investigations - Kara sea example." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 115–124.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Колосков Евгений Николаевич — аспирант.  
Научный руководитель:  
Фирсов Юрий Георгиевич —  
кандидат технических наук, доцент.  
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени  
адмирала С.О. Макарова»  
evgenklskv@mail.ru

### INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Koloskov Evgeniy Nikolayevich — postgraduate.  
Supervisor:  
Firsov Jurij Georgievich —  
PhD, associate professor.  
Admiral Makarov State University of Maritime  
and Inland Shipping  
evgenklskv@mail.ru

Статья поступила в редакцию 11 декабря 2015 г.