

УДК 551.462.32(268.52-13)

**О.В. Кокин, Н.В. Копа-Овдиенко, А.С. Цвечинский**

## Микрорельеф дна Байдарацкой губы и его динамика

**Ключевые слова:** дно Байдарацкой губы, арктические условия, исследования микрорельефа, рельефообразующие процессы, обеспечение геотехнической безопасности.

**Keywords:** bottom of the Gulf of Baydaratskaya, Arctic conditions, microtopography study, relief forming processes, ensuring geotechnical safety.

При строительстве и эксплуатации газотранспортной инфраструктуры на дне арктических морей необходимо обеспечить как высокую геотехническую безопасность объектов, так и высокую экологическую безопасность окружающей среды. Важнейшую роль в этом играют исследования микрорельефа дна и его динамики.

В Байдарацкой губе Карского моря, где строительство и эксплуатация газотранспортной инфраструктуры в настоящее время ведутся очень активно, микрорельеф дна сформирован и продолжает формироваться двумя основными процессами: на подводном береговом склоне (на глубинах до 10–12 м) – ветровым волнением, а на больших глубинах – деструкцией дна морскими ледяными образованиями [1]. Таким образом, на дне губы выделяются зона волнового микрорельефа и зона ледового микрорельефа, граница между которыми проходит по изобате 10–12 м.

Полевые исследования микрорельефа дна Байдарацкой губы проводятся с 2007 г. На глубинах более 10 м съемка осуществляется с борта специализированного научно-исследовательского судна параллельно гидролокатором бокового обзора, эхолотом и высокочастотным акустическим профилографом. На глубинах менее 10 м съемка рельефа дна проводится эхолотом с борта маломерного судна. Таким образом, съемка с борта научно-исследовательского судна покрывает зону ледового микрорельефа, а съемка с борта маломерного судна – зону волнового микрорельефа. Далее мы будем рассматривать рельеф каждой зоны отдельно.

Взаимодействие морских ледяных образований с дном связано как с деструктивными, так и с аккумулятивными процессами (таблица). Наиболее интересны деструктивные процессы, так как они представляют потенциальную опасность для инженерных сооружений на дне.

### Классификация и характерные особенности форм микрорельефа, созданного морскими ледяными торосистыми образованиями

Классификация форм	Генетический тип микрорельефа	Ледово-морской		
		Ледово-деструктивный		Ледово-аккумулятивный
		Ледово-экзарационный	Ледово-экструзивный	Ледово-напорный
Характерные особенности форм	Морфолого-генетическое название форм	Борозды выпахивания	Котловины выдавливания	Валики напора
	Форма в плане (морфология)	Линейные	Изометричные	Линейные
	Преобладающие направления движения морских ледяных образований	Горизонтальные	Вертикальные	Горизонтальные
	Преобладающий механизм (происхождение)	Выпахивание (экзарация)	Выдавливание (экструзия)	Напор (пушинг)

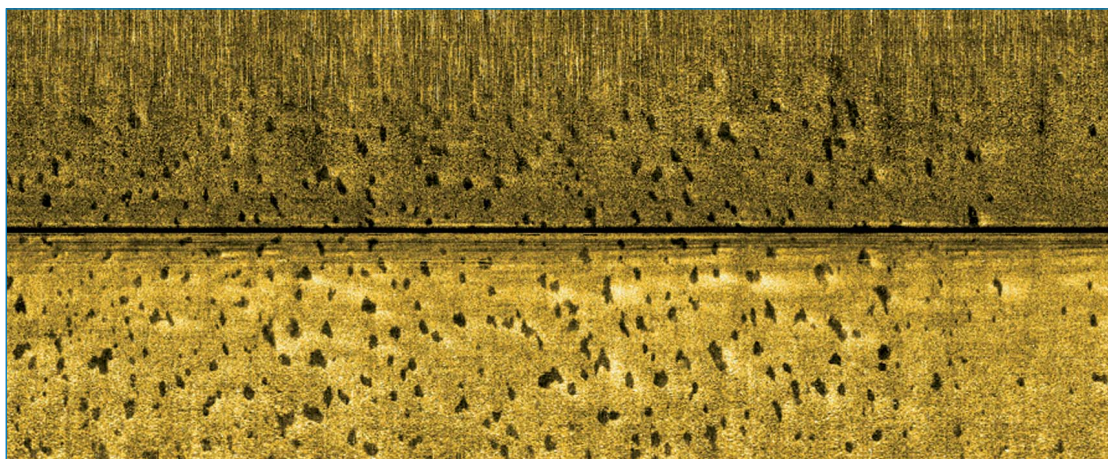
Результатом деструкции дна морскими льдами являются линейные и изометричные формы микрорельефа. Линейные формы обязаны своим появлением в основном движению ледяных тел в горизонтальных направлениях под действием течений и ветра (дрейф), однако из-за приливно-отливных колебаний также происходит их незначительное (по сравнению с горизонтальным) перемещение по вертикали. При этом кили ледяных образований производят выпахивающую работу подобно плугу, оставляя после себя линейно вытянутые отрицательные формы в виде борозд и положительные формы в виде валиков, состоящих из перетолженных осадков.

Изометричные формы появляются в результате точечного воздействия на дно морских льдов. Чаще всего это связано либо с вертикальными приливно-отливными колебаниями уровня моря, из-за которых ледяное тело садится на мель, уплотняя и выдавливая донные осадки под собой, либо с ростом массы ледяного тела в местах постоянного образования сжатия морских льдин, из-за чего происходит его постепенное погружение. Однако такое точечное воздействие может быть и результатом горизонтальных движений морских льдов, когда, например, их кили встречают препятствия в виде подводных склонов, от которых они отталкиваются, меняя траекторию своего движения. При этом происходит процесс выдавливания осадков и образование на их месте котловины. Как правило, этот процесс сопровождается появлением аккумулятивных форм, так как донные отложения чаще всего уплотняются под действием давления ледяных тел.

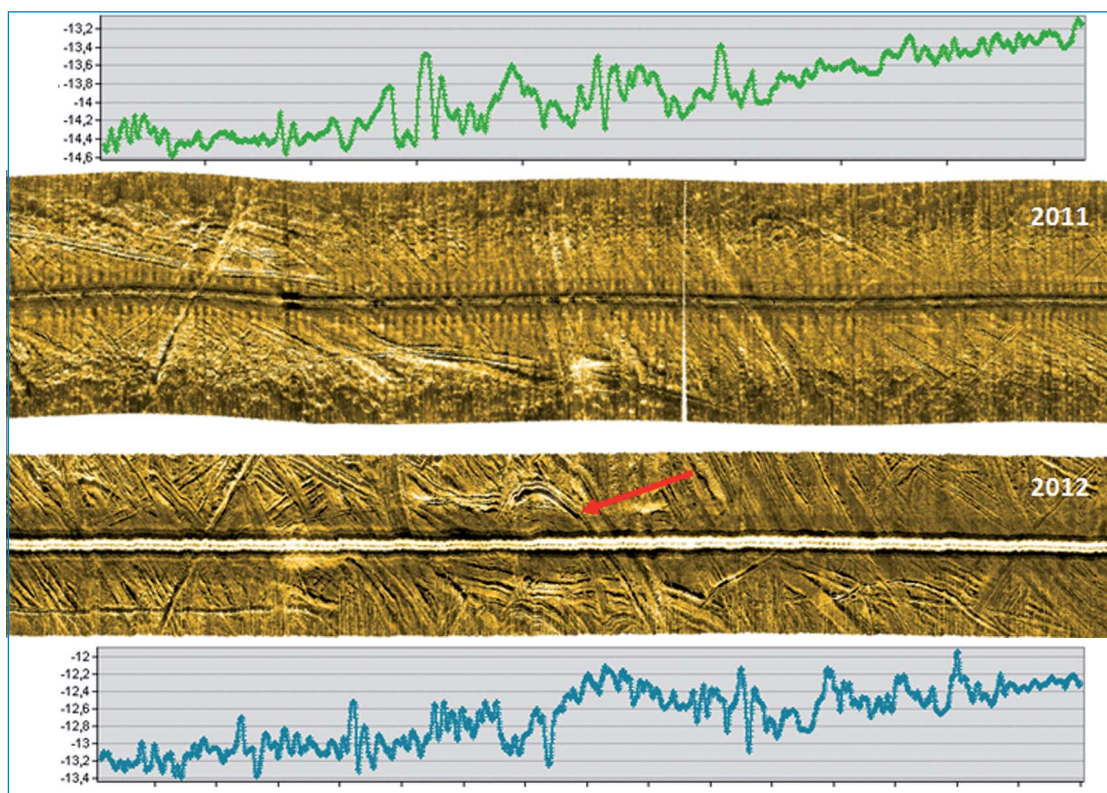
В результате проведения полевых исследований микрорельефа дна в Байдарацкой губе было выявлено более 8000 индивидуальных борозд, распространенных по всему дну губы, и около 170 котловин (рис. 1), которые приурочены, главным образом, к террасовидной площадке, расположенной на уральском борту котловины губы, на выходе из губы.

Только 5 % всех борозд и 0,6 % всех котловин имеют глубину не менее 0,5 м, при этом самая крупная борозда – 2,1 м (от фоновой поверхности дна без учета валиков), а самая крупная котловина – 0,6 м. Таким образом, доминирующим микрорельефом Байдарацкой губы в зоне ледового микрорельефа является ледово-экзарационный микрорельеф, представленный бороздами выпахивания, о которых в основном и пойдет речь ниже. Предлагается борозды глубиной менее 0,5 м называть мелкими, от 0,5 до 1 м – средними, более 1 м – крупными, а более 2 м – экстремальными.

Время «жизни» борозд выпахивания на морском дне определяется их размерами и скоростью накопления осадков внутри них, поэтому необходимо различать «накопленные» (к настоящему времени) и «новообразованные» (за определенный промежуток времени) формы микрорельефа дна. Именно новообразованные борозды выпахивания могут представлять потенциальную опасность для объектов газотранспортной инфраструктуры на морском дне. Для выявления новообразованных борозд было проведено сравнение результатов комплексной геофизической съемки по одним и тем же профилям за 2011 и 2012 гг. (рис. 2).



**Рис. 1. Полигональные изометричные образования на террасовидной площадке на уральском борту котловины губы, на выходе из губы. Ширина полосы – 150 м**



**Рис. 2. Пример сравнения результатов съемки 2011 и 2012 гг.  
Стрелкой показана новообразованная борозда**

По результатам съемок микрорельефа дна были сделаны следующие выводы.

1. Накопленная плотность распределения борозд асимметрична относительно оси губы: на ямальском борту она больше, чем на уральском. Данная закономерность не связана с геоморфологическим строением котловины губы, а определяется другими факторами, в первую очередь, циклонической циркуляцией приливно-отливных течений внутри губы.

2. Максимальная накопленная плотность борозд выпаживания приурочена обычно к глубинам 15–20 м и составляет чаще всего 20–25 шт./пог. км. При этом в различных местах губы она может варьировать от 10 до 50 шт./пог. км и наблюдаться на глубинах от 12 до 25 м.

3. Минимальная накопленная плотность борозд выпаживания приурочена к глубинам менее 12 м на ямальском борту, менее 15 м – на уральском борту и более 25 м – в днище котловины губы и составляет менее 10 шт./км. С приближением к изобате 10 м плотность борозд понижается, а на глубинах менее 10,5 м они практически не встречаются. Однако это не значит, что ледовое воздействие на дно на глубине менее 10,5 м совсем отсутствует. Скорее всего, отсутствие борозд на этих глубинах связано с тем,

что следы ледового воздействия здесь уничтожаются волновой деятельностью во время сильных летних и осенних штормов, которые формируют совершенно другой по морфологии волновой микрорельеф.

По результатам сравнения съемок микрорельефа по одним и тем же профилям за разные годы новообразованные борозды были обнаружены в основном на глубинах 12–15 м, хотя иногда они встречаются и на меньших (до 10 м), и на больших (до 23 м) глубинах. При этом все новообразованные борозды являются мелкими (глубиной в основном 0,2–0,3 м и всего одна борозда – 0,4 м).

В целом по результатам исследований микрорельефа дна Байдарацкой губы в зоне ледового микрорельефа и его динамики можно сделать вывод, что основным фактором пространственного распределения морфометрических характеристик ледового микрорельефа на данном участке является глубина моря. Авторами выделены следующие «глубинные пояса» ледового микрорельефа в Байдарацкой губе:

- 10–15 м – низкая накопленная плотность мелких борозд, которая продолжает интенсивно расти за счет новообразованных мелких борозд;

- 15–20 м – высокая накопленная плотность крупных, средних и мелких борозд, которая продолжает слабо расти за счет новообразованных мелких борозд;

- 20–25 м – средняя накопленная плотность экстремальных, крупных, средних и мелких борозд, которая в настоящее время почти перестала расти (за единичными исключениями);

- 25–35 м – низкая накопленная плотность средних и мелких борозд, которая в настоящее время совсем не растет.

Зона волнового микрорельефа была исследована авторами на двух ключевых участках – Ямальском и Уральском, которые представляют особый интерес, так как на них расположены действующие и строящиеся объекты газотранспортной инфраструктуры.

Ямальский участок подводного берегового склона характеризуется относительно спокойной литодинамической обстановкой. Он защищен от волновых воздействий со стороны наиболее волноопасных северного и северо-северо-западного румбов. Заметное влияние на устойчивость рельефа и перераспределение осадков здесь оказывает р. Яраяха, впадающая в Байдарацкую губу в пределах участка.

В целом для Ямальского участка характерен относительно небольшой уклон дна, часто немного уменьшающийся на глубинах более 2–3 м. На подводном береговом склоне здесь отмечаются две субпараллельные берегу зоны валов. Первая зона валов, включающая, как правило, три-четыре индивидуальных вала, распространена обычно до глубин около 3 м. Ближайший к берегу вал часто маркирует

внешнюю границу осушки. Вторая зона валов с одним-двумя индивидуальными валами приурочена к глубинам 6–9 м; она выражена не везде. Относительная высота валов над межваловыми ложбинами в этих зонах может достигать 1,5 м, иногда и более.

Наибольшие изменения рельефа дна на подводном береговом склоне за 2007–2012 гг. связаны с прямым техногенным воздействием и произошли непосредственно на трассах ниток строящегося газопровода, где для укладки труб проложены траншеи глубиной относительно окружающей поверхности до 3 м. Значительное (более чем на 0,5 м) увеличение абсолютных высот поверхности подводного берегового склона, наблюдаемое на глубинах 4–4,5 м и сопровождающееся формированием не характерных для естественного рельефа подводного берегового склона субгоризонтальных площадок, связано с отсыпкой грунта, изъятая из траншей. Вне зон прокладки траншей и отсыпок основное изменение рельефа за 2007–2012 гг. заключается в выравнивании рельефа дна в первой зоне подводных береговых валов, в результате чего валы или вовсе исчезли (рис. 3), или их количество сократилось с трех-четырех до одного-двух, а относительная высота уменьшилась с 1,5 до 0,5 м. В результате выравнивания рельефа дна горизонтальные миграции валов и межваловых понижений, являющиеся в данной зоне основной причиной изменения абсолютных высот дна, не могут обеспечить вертикальные деформации рельефа более чем на  $\pm 0,5$  м.

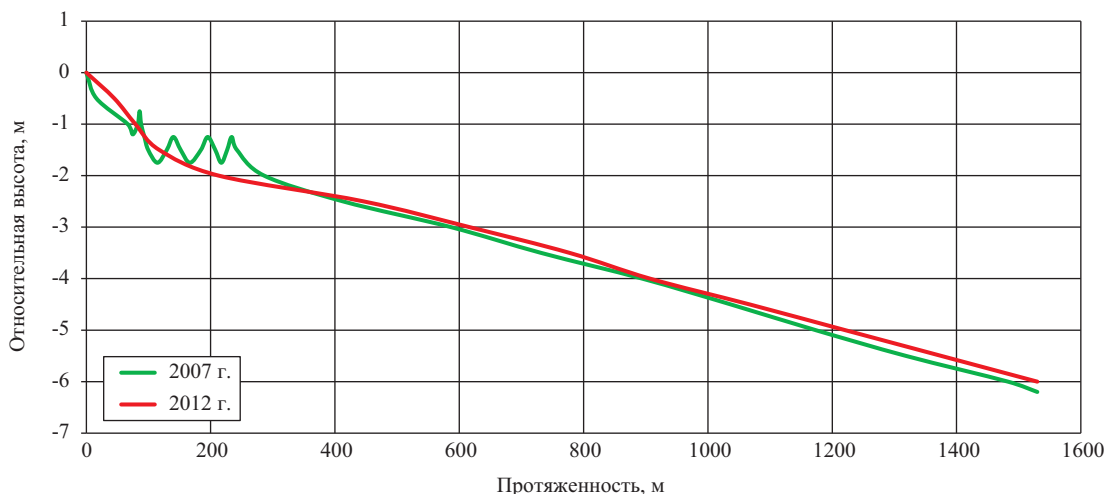
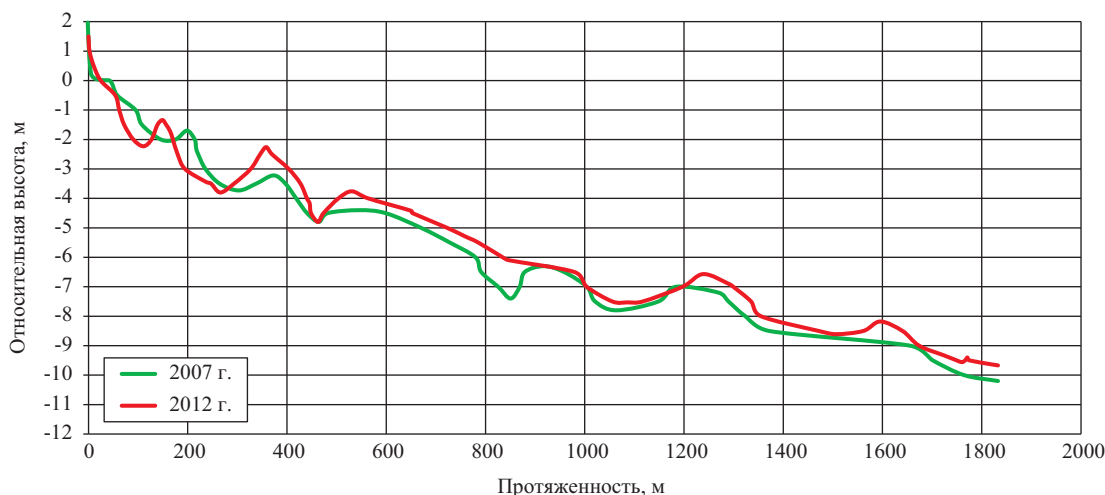


Рис. 3. Типичный поперечный профиль подводного берегового склона на Ямальском участке



**Рис. 4. Типичный поперечный профиль подводного берегового склона на Уральском участке**

Рельеф подводного берегового склона Уральского участка довольно сильно отличается от рельефа подводного берегового склона Ямальского участка, хотя в обоих случаях основным его элементом являются подводные вдольбереговые валы. Однако на Уральском участке валы крупнее: их относительная высота иногда превышает 2 м, а ширина может достигать 80 м. Наиболее хорошо подводные валы выражены на глубинах менее 3,5 м; на больших глубинах (вплоть до 10-метровой изобаты) они более пологие и слабо выдержаны по простиранию.

Наибольшие величины изменения рельефа подводного берегового склона за 2007–2012 гг. на Уральском и Ямальском участках связаны с прямым техногенным воздействием и произошли непосредственно на трассах ниток строящегося газопровода, где для укладки труб проложены траншеи глубиной относительно окружающей поверхности до 4 м. Восточнее ниток газопровода, в районе 3-метровой изобаты, отмечена крупная выемка, явно имеющая прямое техногенное происхождение. Наиболее сильные изменения абсолютных высот в сторону их увеличения также произошли в результате прямого техногенного воздействия, а именно в результате отсыпки грунта при прокладке траншей. Местами абсолютная высота дна увеличилась в результате отсыпки грунта на 2 м.

Другие изменения рельефа подводного берегового склона связаны с естественным переформированием системы подводных валов. За 2007–2012 гг. подводные валы на отдельных участках подводного берегового склона

сместились на место ложбин и наоборот, в результате чего изменения абсолютных высот в 2012 г. по сравнению с 2007 г. местами достигли 2 м (рис. 4). Причем изменения произошли как в сторону уменьшения абсолютных высот, так и в сторону их увеличения, что свидетельствует об их ненаправленности.

Таким образом, основными формами микрорельефа дна Байдарацкой губы в зоне волнового микрорельефа являются подводные вдольбереговые валы. Наибольшее распространение и наилучшую морфологическую выраженность они имеют на глубинах до 3–3,5 м, где в естественных условиях достигают относительных высот до 1,5 м на Ямальском участке и до 2,0 м – на Уральском. Наибольшие изменения рельефа дна Байдарацкой губы в зоне волнового воздействия за 2007–2012 гг. на участках строительства газопровода произошли в результате прямого техногенного воздействия: в траншеях для укладки труб вертикальные деформации рельефа составили до 4 м. Изменения рельефа по естественным причинам связаны в основном с переформированием систем подводных валов и являются ненаправленными.

#### Список литературы

1. Огородов С.А. Воздействие морских льдов на берега, дно и инженерные сооружения в прибрежно-шельфовой зоне российской Арктики / С.А. Огородов, А.И. Носков, Н.Г. Белова // Естественные и технические науки. – 2010. – № 5. – С. 344–348.