

*КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ШЕЛЬФЕ  
И НА ПОБЕРЕЖЬЕ АРКТИЧЕСКИХ МОРЕЙ*

УДК 551.345

**ПРОБЛЕМЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА  
В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ ЗАПАДНОГО ЯМАЛА**

**И.В. Юрьев**

*ООО “Газпром добыча Надым”, 629730, Ямало-Ненецкий автономный округ, Надым,  
ул. Полярная, 1/1, Россия, yuriev@utk.ongp.ru*

Представлены результаты изучения устойчивости морских побережий в условиях криолитозоны Западного Ямала за тридцатилетний период с 1976 г. Мониторинг береговой линии на территории Харасавэйского газоконденсатного месторождения позволил определить ширину “коридора риска” (100 м) для обеспечения безопасной эксплуатации объектов инфраструктуры. При этом была учтена средняя скорость отступления берега (более 1 м/год) и активность эрозионных процессов естественного и антропогенного генезиса.

*Полуостров Ямал, криолитозона, термоабразия, динамика отступления береговой линии*

**PROBLEMS OF GAS FIELD EXPLOITATION IN COASTAL  
ZONE OF WESTERN YAMAL**

**I. V. Yuriev**

*LLC “Gasprom Dobycha Nadym”, 629730, Yamalo-Nenetsky Autonomous District, Nadym,  
Polar str., 1/1, Russia, yuriev@utk.ongp.ru*

Results of study of the seashore stability in the conditions of the West Yamal cryolithozone are presented for 30-year period since 1976. Monitoring of seashore line on the territory of Kharasavey gas-condensate field allowed us to determine the width of “risk zone” (100 m) for safe exploitation of the industrial objects. The average coastal retreat (more than 1 m/year) and the activity of erosion processes of natural and human-made geneses have been taken into account.

*Yamal peninsula, permafrost area, thermal erosion, coastal dynamics*

**ВВЕДЕНИЕ**

Проблема разрушения и отступления морских берегов в Арктике была поднята еще в 1823 г. русским полярным исследователем П.Ф. Анжу, который провел измерения на островах Васильевском и Семеновском. В XX в. комплексные исследования по термоабразии морских берегов проводились Ф.Э. Арэ, Н.Ф. Григорьевым, Л.Ю. Шуром, М.Н. Григорьевым, А.А. Васильевым и многими другими. Изучением переработки берегов занимались и крупные научно-исследовательские организации, такие как ВСЕГИНГЕО, Институт мерзлотоведения СО РАН и другие, исследующие переработку морских, речных и озерных берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами (ММП). Большой интерес представляют основные результаты исследований для строительства подводного перехода в районе Байдарацкой губы [Природные..., 1997].

Систематические наблюдения и накопление фактических данных о характере и скорости переработки берегов в криолитозоне позволили сформировать представления “о прибрежно-шельфовой зоне арктических морей как о целостной природной криогенной геосистеме со своими специфическими чертами и комплексом прямых и обратных связей” [Васильев и др., 2001, с. 44].

**РОЛЬ ТЕРМОАБРАЗИИ И ТЕРМОДЕНУДАЦИИ  
В РАЗРУШЕНИИ БЕРЕГОВ**

Термоабразионные процессы в Арктике протекают с высокой интенсивностью и существенно влияют на формирование морского рельефа. По данным Л.А. Жигарева, В.А. Совершаева [1984], за последние 250 лет в морях Лаптевых и Восточно-Сибирском были полностью разрушены острова

Св. Дионида, Св. Фигурина, а также Васильевский и Семеновский. На последних трех исследованиях было описано геологическое строение отложений.

Процесс перестроения берегов включает комплекс взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом факторов. Ф.Э. Арэ [1973] отмечает, что в переработке берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами, участвуют термоабразия, термоденудация и тепловая просадка.

А.И. Ермолаев [1976] под понятием “перестроение берегов” подразумевает совокупность определенных процессов – видов перестроения берегов. Видом перестроения он называет процесс, определяющий механизм разрушения первичных склонов и характер формирующегося берега. Фактически в процессе термоабразии перестроения берегов одновременно и во взаимосвязи развиваются следующие элементарные процессы: оттаивание, абразия, тепловая просадка и термоденудация, которые в совокупности определяют конечный результат.

Ф.Э. Арэ [1980] установил, что многолетнемерзлые рыхлые отложения выступают в отношении механического воздействия волнения как скальные породы. Их размыв волнами возможен после оттаивания. Тепловое воздействие водной массы вызывает лишь изменение состояния пород, а их размыв и удаление материала осуществляется волнами, что и определяет морфологическое значение преобразования первичных склонов, т. е. формирование прибрежной отмели.

Как известно, при абразионном процессе врезка в первичный склон (глубина заложения отмели) происходит до некоторого гипсометрического уровня, зависящего от уровня и волнового режимов участка, что определяет возможность достижения профиля динамического равновесия. Просадка отложений при их оттаивании препятствует достижению профиля динамического равновесия и прекращению систематического размыва. Механизмом, в той или иной степени компенсирующим просадку и уменьшающим тепловое воздействие на ММП, является аккумуляция размываемого материала. Поэтому при наличии просадочных отложений формирование аккумулятивной призмы – необходимое условие для достижения профиля динамического равновесия и стабилизации берега [Ермолаев, 1984].

Характерным примером берега Западного Ямала, где аккумулятивные процессы преобладают над абразионными, является участок берега южнее мыса Харасавэй (о. Шариповы Кошки) и часть побережья Байдарацкой губы, а также намывные острова Болотный и Марресальские Кошки. Для данной части прибрежной акватории характерно преобладание стабильных и выдвигающихся в море аккумулятивных берегов. Главную роль здесь

играют гидрологические факторы и в меньшей мере – криогенные процессы, благодаря которым происходит закрепление наносов. Скорость отступления береговых уступов, сложенных сильнольдистыми отложениями, составляет от 1 до 3 м/год, причем на скорость разрушения заметное влияние оказывают мощные снежные надувы, сохраняющиеся у подножия береговых уступов часто в течение всего лета. Эти надувы к середине лета превращаются в плотную ледяную массу и защищают береговые уступы от разрушения. На скорость разрушения берегов влияют и подводные вдольбереговые валы, которые гасят энергию волнения. Термоабразионные процессы в целом способствуют выравниванию береговой линии [Григорьев, Ермаков, 1984].

По мнению А.И. Ермолаева [1977], основными факторами, определяющими интенсивность и масштаб отступления берегов, являются свойства пород, слагающих склон и выступающих в качестве объекта воздействия, а также морфология склона. Факторами, непосредственно воздействующими на берега, можно считать тепловую энергию воды и волнение, колебание уровня, гипсометрически распределяющие и направляющие механическую и тепловую энергию водной массы в зоне сработки. Представительными характеристиками рыхлых отложений при абразионном перестроении берегов являются показатели прочности и гранулометрический состав. Скорость оттаивания отложений в первую очередь зависит от их льдистости. Влияние температуры сильнольдистых многолетнемерзлых пород незначительно, так как затраты тепла на фазовые переходы при плавлении подземного льда намного больше, чем на повышение температуры [Арэ, 1980]. Льдистостью определяется также величина просадки отложений при их оттаивании.

Л.А. Жигарев [1984] отмечает большую роль вдольберегового течения при термоабразии. Помимо перемещения материала, уже поступившего на абразионную площадку вследствие ударного воздействия волн на основание надводного берегового уступа, под воздействием течения образуются глубокие ниши, называемые, по его мнению, не совсем верно – “волноприбойными”. Автор обосновывает свою точку зрения тем, что в мелководных арктических морях образуются крупные короткопериодные волны, которые в меньшей степени подвержены рефракции и вследствие этого характеризуются более сильными вдольбереговыми потоками энергии.

На темп термоабразии большое влияние оказывают, как было отмечено выше, льдистость и состав пород, слагающих берег. Одним из главных факторов, определяющих переработку термоабразионных берегов, является содержание льда в породах. Его влияние становится существенным,

когда берег сложен просадочными породами. С увеличением льдистости просадочных пород возрастают скорость отступления берега, предельная величина отступления и время, необходимое для стабилизации берега. Если льдистость превышает критическое значение, разрушение берега приобретает незатухающий характер [Арэ, 1979].

Можно выделить следующие показатели, отражающие влияние различных факторов на процесс переработки берегов:

- суммарную льдистость пород;
- относительную осадку пород при оттаивании;
- среднелетнюю температуру водных масс;
- температуру пород на глубине нулевых колебаний;
- среднюю температуру воздуха;
- коэффициент теплоотдачи от воды к породам.

В.М. Гуревич [1984] вышеперечисленные показатели определяет как факторы первого порядка, к которым относит дополнительно: энергию волнения и прибойного потока; гидродинамические условия трансформации волн на отмели, зависящие от ширины отмели, ее уклона и глубины на внешнем крае отмели; режим уровня воды; режим вдольберегового потока наносов; сопротивляемость породы размыву, зависящую от литологии пород их физико-механических и теплофизических свойств (плотности, угла сдвига, температуры, льдистости), а также от температуры воды в водохранилище, объема обвалных пород, являющегося функцией высоты берега, коэффициента теплоотдачи, относительной осадки мерзлых пород при оттаивании и температуры воздуха, профиля склона до переработки, извилистости береговой линии.

К факторам второстепенным, влияющим на переработку термоабразионных, так и обычных берегов, В.М. Гуревич [1984] причисляет: статическую устойчивость пород склона; выветривание пород, наличие защитного растительного покрова; гидрогеологические условия.

Специфическими факторами, влияющими на переработку термоабразионных берегов, автор называет следующие: суммарную льдистость горных пород, слагающих берега; относительную осадку мерзлых пород при оттаивании; коэффициент теплоотдачи; среднелетнюю температуру воды; среднегодовую температуру пород на глубине нулевых колебаний температур; среднегодовую температуру воздуха.

Вызывают интерес данные, полученные коллективом авторов (Ю.Л. Шур, А.А. Васильев и др. [1984]) при наблюдении за скоростью термоабразии на Западном побережье п-ова Ямал в районе полярной станции Марре-Сале.

Исследователями были выделены три характерных участка с присущими им скоростями термоабразии.

Первый участок прилегает к устью р. Марреяхи и имеет абсолютные отметки 10–20 м, крутой профиль берегового откоса (лишенный растительности, с узкой полосой пляжных отложений), сложенный преимущественно суглинками с относительно невысокой льдистостью. Изрезанность береговой линии невысокая, скорость отступления составила 1,3 м/год.

Южнее расположен второй участок с абсолютными отметками 20–29 м, крутой нижней и более пологой верхней частью откоса. Нижняя часть разреза сложена суглинком и лишена растительности. Для верхней части, сложенной песками, характерно заселение растительностью сравнительно стабильных участков. Сильная изрезанность береговой кромки с образованием мысов и цирков в верхней части откоса указывает на значительную неоднородность в скорости отступления берега, составляющую в среднем 1,8 м/год.

Третий, самый южный участок имеет абсолютные отметки 12–18 м, береговой откос, покрытый редкой растительностью, широкий пляж шириной 40–50 м, сложенный преимущественно песками, и характеризуется скоростью отступления до 1 м/год. Это объясняется его расположением вблизи аккумулятивной зоны Марресальского п-ова.

Максимальная величина отступления берега отмечалась на участках с повышенной льдистостью пород. Отсутствие пляжных отложений указывает на усиленное развитие здесь термоабразии.

Были проведены полевые эксперименты для сравнительной оценки размываемости пород. Результаты показали сохранение ряда песок-пылеватый песок-супесь-суглинок-глина в порядке возрастания скорости размыва мерзлых пород.

Анализ данных показал, что породы, слагающие берег в районе полярной станции Марре-Сале, существенно различаются между собой на разных участках. Однако это не сказывается на скорости отступления берега и слабо отражается в плановой конфигурации подошвы берегового уступа [Шур и др., 1984].

В литературе часто встречается мнение о решающей роли механического воздействия волн на процесс береговой термоабразии в криолитозоне. А.А. Васильев с соавторами [2001] количественно оценили влияние волнового воздействия на разрушение берегов. При обработке данных выявлена тесная корреляционная зависимость ( $R^2 = 0,8$ ) между скоростью отступления берега и условной энергией волнового воздействия. Если отбросить влияние волнового воздействия, начальная скорость отступления кромки берега за счет термоденудации составит 0,4 м/год. Кроме того,

установлено, что за счет штормов с высотой волн более 1 м условная волновая энергия в год увеличивается не более чем на 25 %. Основной вклад в разрушение берегов вносит волновое воздействие с высотой волн менее 1 м. Именно их длительное воздействие в безледный период приводит к размыву основания берегового клифа, нарушению его устойчивости и в конечном счете к отступанию берега [Васильев и др., 2001].

Следует отметить роль термоденудации в процессе переформирования берегов. Тепловое и механическое воздействие морских вод приводит к размыву основания берега. Вследствие этого лежащие выше по склону отложения сезонноталого слоя (СТС) лишаются опоры, сплывают вниз к подножию берегового уступа, и происходит полное разрушение растительно-торфяного слоя. Затем начинается протаивание обнажившихся на береговом уступе ММП под воздействием воздуха и солнечной радиации. При оттаивании ММП развивается вязкопластичное течение грунтов, и на участках выхода залежеобразующих льдов формируется ледяной уступ, постепенно отступающий вверх по склону. Течение грунтов сопровождается их размывом и смывом талыми и дождевыми водами, т. е. развивается весь комплекс тепловых, гравитационных и эрозионных процессов, которые называются термоденудацией [Жигарев, Совершаев, 1984].

Следовательно, термоденудация приводит к выполаживанию и формированию устойчивого склона, а не к отступанию берега. Выделение термоабразионного и абразионно-термоденудационного типов берегов арктических морей имеет большое практическое значение. На участках распространения абразионно-термоденудационных берегов значительно проще осуществлять берегоукрепительные работы, чем на участках термоабразионных берегов, где портовое и гидротехническое строительство практически невозможно.

#### МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГОВОЙ ЛИНИИ

Все перечисленные выше факторы определяют характер протекания термоабразии и скорость переработки берегов. Существуют различные подходы к определению величины и скорости отступления береговой линии. К более точным относятся “прямые” методы. Основной из них – работа с аэрофотоснимками разных лет одного участка. За рубежом, как и в нашей стране, с начала 1970-х гг. для изучения скорости отступления морских берегов исследователи использовали дешифрирование аэрофотоснимков [Reimnitz et al., 1988].

В настоящее время перспективным считается дешифрирование снимков высокого разрешения, сделанных со спутников, а также метод “засечки

позиции” с применением GPS (Global Position System). Однако, учитывая финансовые затраты (например, при локальных исследованиях), небольшой объем накопленных данных при использовании первого метода и погрешности глобальных систем позиционирования, достигающие 10 м, для второго метода наиболее оптимальными остаются обработка материалов аэрофотосъемки разных лет и метод “наблюдательных створов”. Для последнего достаточно давно разработана методика. На участке наблюдения параллельно бровке и на расстоянии 50–150 м от нее прокладывается магистраль, оборудованная реперами и марками. На берегах, включающих массивные льды, размечается вторая магистраль, отстоящая от первой на 100–150 м. Перпендикулярно магистралям в сторону берега прокладываются створы с марками. Расстояние между створами выбирается исходя из конкретных условий и составляет обычно 50–200 м, расстояние между марками 10 м. На коротких участках оборудуются 10–15 створов, на протяженных – до 50 и более. В намеченные сроки измеряются расстояния вдоль створа береговой кромки до ближайшей марки. Объем измерений и их обработка в этом случае минимальны, а полученные данные достаточно точны.

В литературе встречаются и так называемые “косвенные” методы, в основе которых лежат ботаническая индикация, использование закономерностей оттаивания грунтов или геотермический метод, а также получение сведений о скорости разрушения берегов через опрос местных жителей. Первые два приемлемы для получения данных по озерной или речной термоэрозии, при третьем способе величины оказываются в подавляющем большинстве случаев сильно завышенными. Так, по данным В.П. Кальянова [1934], приведенным со слов местного жителя, скорость отступления берега составила 200 м/год. Последний пример относится, скорее, к историческим курьезам и не может лежать в основе сбора научных данных.

#### ПРОБЛЕМЫ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ В БЕРЕГОВОЙ ЗОНЕ

Исследование разрушения морских берегов в криолитозоне представляет не только научный интерес, но и вызвано производственной необходимостью. При разработке прибрежных месторождений п-ова Ямал, в частности Харасавэйского газоконденсатного месторождения (ГКМ), некоторые объекты производственной инфраструктуры на первом этапе освоения были построены в непосредственной близости от берега, без учета особенностей формирования береговой линии, что в ближайшем будущем может привести к негатив-



**Рис. 1. Подмыв берегового клифа и сработка берега на проблемном участке (ноябрь 2007 г.).**

ным последствиям. По прошествии ряда лет эти сооружения оказались вблизи зоны “повышенного риска”. Через несколько лет их дальнейшая эксплуатация может стать невозможной. В настоящее время разрабатывается проектная документация на строительство сооружений следующего этапа обустройства месторождения и реконструкции существующей инфраструктуры. При исполнении проектных решений необходимо учитывать процессы перформирования берега на территории, планируемой под застройку.

Данный участок побережья п-ова Ямал формируется под действием как термоабразионных, так и аккумулятивных процессов. В этой части прибрежной акватории существуют стабильные берега с пологим профилем берегового откоса и широким пляжем шириной 50–70 м, сложенным преимущественно песками. Подобный участок наблюдается в районе от взлетно-посадочной полосы (ВПП) пос. Харасавэй до здания вахтового жилого комплекса (ВЖК).

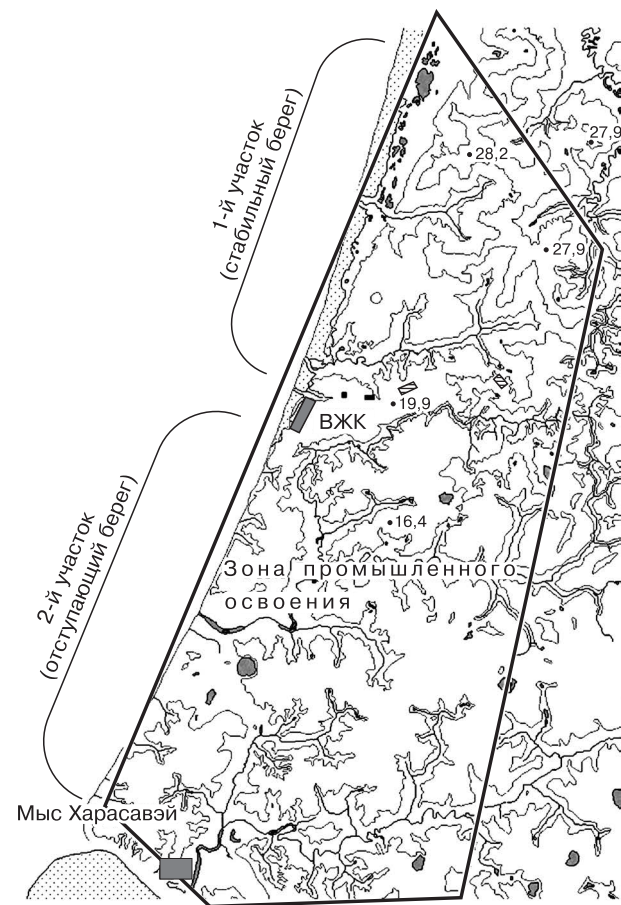
Южнее берег изменяется и носит явные признаки термоабразионных процессов, разрушение берега на этом участке хорошо прослеживается даже визуально (рис. 1). Особенно это заметно после ураганных штормов, которые в данном районе нередки. В сентябре 2005 г. в результате сильного шторма было смыто большое количество грунта, в основании откоса наблюдались глыбы отседания, обнажились мощные прослойки пластового льда. Береговая линия существенно изменилась, что привело к нарушению условно равновесного профиля берегового обрыва (рис. 2). В связи с этим в ближайшие несколько лет прогнозируется увеличение скорости отступления береговой линии на данном участке по отношению к среднемугодулетней.

Таким образом, исследуемую территорию побережья Харасавэйского месторождения можно



**Рис. 2. Берег в районе пос. Харасавэй после шторма 2005 г.**

разделить на два участка (рис. 3). Первый участок характеризуется достижением профиля динамического равновесия и прекращением системати-



**Рис. 3. Участки берега Харасавэйского ГКМ:**

1 – стабильный, 2 – подверженный термоабразионным процессам.

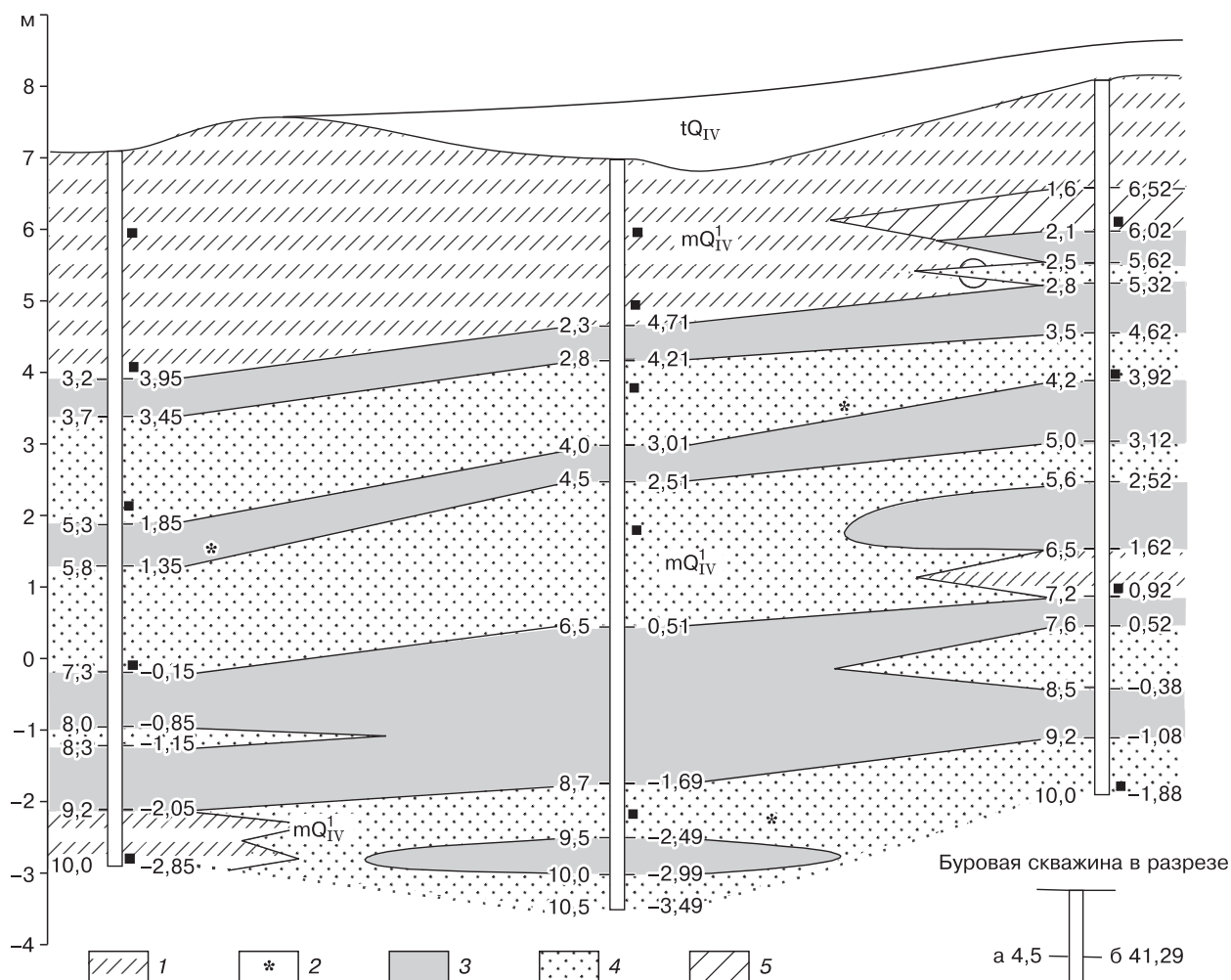
ческого размыва, когда аккумулятивные процессы уравниваются термоабразивными, второй – разрушением и отступанием берега вследствие активной термоабразии.

Исследование скорости отступления морского берега на этом участке необходимо для получения фактических данных и возможности прогнозирования последующих изменений, а также предупреждения аварийных ситуаций. В 2006 г. были проведены инженерно-геологические изыскания с целью получения исчерпывающей информации о геоморфологических, геокриологических и гидрогеологических условиях, составе, состоянии, физико-механических и теплофизических свойствах ММП.

### ГЕОМОРФОЛОГИЧЕСКОЕ И ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ХАРАСАВЭЙСКОГО УЧАСТКА

В геоморфологическом отношении объект исследований расположен в пределах I морской террасы. Рельеф площадки относительно ровный, спланирован насыпными грунтами, с абсолютными отметками поверхности 7–13 м.

В геологическом строении принимают участие современные техногенные отложения ( $tQ_{IV}$ ) и голоценовые морские отложения ( $mQ_{IV}^1$ ) (рис. 4). Современные техногенные (насыпные) отложения ( $tQ_{IV}$ ) представлены пылеватыми и мелкими песками. Голоценовые морские отложения ( $mQ_{IV}^1$ ) представлены супесями, суглинками и глинами.



**Рис. 4. Инженерно-геологический разрез на исследуемой площадке Харасавэйского ГКМ:**

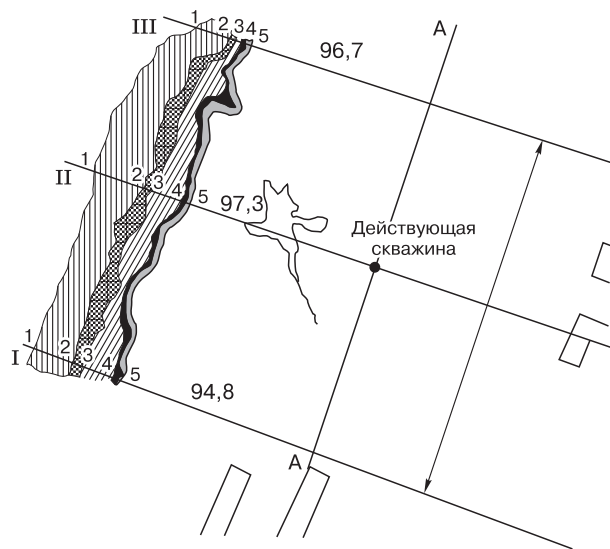
$tQ_{IV}$  – современные техногенные отложения,  $mQ_{IV}^1$  – голоценовые морские отложения; 1 – глина, 2 – многолетнемерзлые грунты, 3 – лед, 4 – песок мелкий, 5 – суглинок; а – глубина подошвы слоя, м; б – абсолютная отметка подошвы слоя, м; в – место отбора проб грунта ненарушенной структуры; г – глубина забоя, м; д – абсолютная отметка забоя, м.

Глинистые грунты обогащены органикой, часто включаются линзы и гнезда пылеватого песка, вмещают прослой и линзы пластовых льдов.

Гидрогеологические условия площадки обусловлены геологическим строением и существующими мерзлотными условиями. На момент бурения на изученной площадке подземные воды не встречены, можно выделить только надмерзлотные воды, формирующиеся вблизи от поверхности в пределах слоя сезонного протаивания в летний период. Водовмещающими грунтами являются насыпные пески, водоупором служат суглинки и мерзлые грунты. Их химический состав определяется не только составом атмосферных осадков, но и содержанием растворимых солей в грунтах. Для этих вод характерен хлоридно-натриевый состав.

В геокриологическом отношении участок приурочен к зоне сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов. По степени цементации пор льдом в зависимости от литологического состава и температуры грунты находятся в твердомерзлом состоянии. Криогенное строение отложений отражает особенности мерзлотно-фациальных условий осадконакопления:

- высокое содержание льда-цемента в пылеватых супесчано-песчаных грунтах, широкое развитие тонкошлировых криогенных текстур;
- высокая льдистость суглинисто-глинистых отложений, преобладание слоистых, слоисто-сетчатых и сетчатых криогенных текстур;



□ 1976 г. ▨ 1990 г. ▩ 2001 г. ■ 2006 г. ▒ 2007 г.  
**Рис. 5. Положение береговой линии в районе пос. Харасавэй (по годам):**

1–5 – отметки отступления на данном створе по годам; 94,8, 97,3, 96,7 – расстояние от базиса до береговой кромки последнего измерения, м; А–А – условный базис для расчета отступления на данном участке берега; I–III – створы, разбитые на равном расстоянии.

– широкое распространение массивных льдов (повторно-жильные и пластовые льды).

Для суглинков и глин характерно наиболее высокое содержание льда, а также повышенное содержание незамерзшей воды, снижающее их прочность. Грунты являются слабо- и среднесоленными. Содержание карбонатов в грунтах составляет десятые доли процента. Общее количество водорастворимых солей обычно не превышает 1 %, с резким преобладанием ионов хлора и натрия. Вдоль береговой линии на глубине 1,7–6,5 м встречены крупные залежи пластового льда мощностью 2,2–7,3 м. Максимальная протяженность ледяного тела составила 73 м.

Среднегодовые температуры многолетнемерзлых грунтов на глубине годовых нулевых амплитуд изменяются от –4,8 до –6,3 °С, что обусловлено различием в составе и льдистости грунтов, условиями снегонакопления. Вся исследованная территория характеризуется сливающимся типом мерзлой толщи. Глубина сезонного оттаивания составляет менее 1,5 м.

### СКОРОСТЬ ОТСТУПАНИЯ БЕРЕГА

Для определения скорости отступления береговой линии на проблемном участке было использовано несколько методов, дополняющих друг друга. Это подбор аэрофотоснимков разных лет (1976, 1990 и 2001 гг.), топографическая съемка (в 2006 г. проводились тахеометрические измерения), в 2007 г. – дистанционное зондирование с применением цифровой аппаратуры с вертолета (рис. 5).

Анализ результатов показал, что полученные приращения отступления береговой линии зависят от местоположения профиля, инженерно-геологических условий, высоты берегового уступа (морфологии). Средняя скорость отступления берега для всего участка составляет 1,13 м/год, минимальная – 0,51 м/год, максимальная – 2,30 м/год. Суммарное отступление береговой линии на исследуемом участке за период с 1976 г. составляет от 28,5 до 39,1 м.

Средняя скорость отступления береговой линии, согласно результатам обобщения литературных источников, характерна для аналогичных по морфологии и геологическому строению берегов западного побережья п-ова Ямал.

Высокую временную изменчивость процессов термообразования на Западном берегу п-ова Ямал отмечал А.А. Васильев с соавт. [2001]. Выявленная ими двадцатилетняя цикличность приходит к на 1978–1998 гг. при средней скорости переработки берега 1,7 м. Полученные нами данные по скорости отступления берега (1,13 м/год), рассчитанные в среднем за тридцатилетний период, возможно,



Рис. 6. Вдольбереговая овражная эрозия в районе пос. Харасавэй (октябрь 2007 г.).

захватывают годы минимума в начале цикла – с 1998 по 2007 г., что привело к снижению этого показателя.

Помимо отступления берега, на наш взгляд, в контексте безопасной эксплуатации объектов на прибрежных территориях, особое внимание следует обратить на вдольбереговую овражную эрозию, активно протекающую в естественных условиях и вызванную техногенными причинами вследствие концентрации стока из-за зарегулированного сброса вод с различных объектов. Изменение режима поверхностного стока в результате возведения наземных инженерных коммуникаций провоцирует активизацию существующих и возникновение новых очагов развития комплекса склоновых процессов (рис. 6). Главными факторами перераспределения стока являются изменение площади водосборов, рельефа поверхности, интенсивность снеготаяния и выпадения осадков и др. Последствиями этих воздействий является активизация овражной и термоэрозии, развитие которых может спровоцировать возникновение других негативных процессов, а также угрожать устойчивости инженерных объектов.

На основе полученных результатов исследования отрезка побережья к югу от ВЖК до м. Харасавэй можно определить “коридор риска” на период предполагаемого тридцатилетнего срока эксплуатации сооружений (рис. 7). При средней скорости отступления берега (1,13 м) и интенсивности оврагообразования ширина “коридора риска” составляет около 100 м от кромки современной береговой линии.

На данный момент обустройство Харасавэйского газоконденсатного месторождения переходит от пионерного этапа освоения к промышленному. Продолжается проектирование и строи-



Рис. 7. “Коридор риска” (100 м) при строительстве сооружений в непосредственной близости от кромки берега.



тельство зданий и сооружений ускоренными темпами. При этом важно учесть весь комплекс взаимосвязанных факторов, влияющих на безопасность объектов, в том числе образование аккумулятивных форм берегового и донного рельефа и возможное выдвигание в море береговой линии.

В связи с этим необходима организация мониторинга береговой линии месторождения на участках застройки. Здесь можно рекомендовать “метод створов” как наиболее точный, не требующий больших трудозатрат и финансовых вложений. Сложности могут возникнуть только в связи с сохранением реперов при прохождении строительной и другой техники по территории полигонов.

### ВЫВОДЫ

1. Скорость отступления берега на участке, подверженном термоабразионным процессам, составляет в среднем 1,13 м/год, что подтверждается литературными источниками.

2. Участок берега от ВПП пос. Харасавэй до вахтового жилого комплекса можно считать безопасным в отношении процессов переработки берега в данном районе.

3. Участок берега южнее ВЖК до м. Харасавэй подвержен термоабразионным процессам.

4. При проектировании и строительстве на “проблемном” участке все объекты должны быть отнесены от существующей береговой линии на 100 м.

5. Рекомендовать мониторинг процессов переформирования берега “методом створов” на участках, планируемых под застройку объектами инфраструктуры Харасавэйского ГКМ.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведение мониторинга динамики береговой линии и накопление фактического материала необходимы для дальнейшей работы проектных и строительных организаций при перспективном освоении месторождения в шельфовой зоне Карского моря. Вопрос устойчивости линейных сооружений и коммуникаций, соединяющих объекты Харасавэйского месторождения в акватории моря и на берегу, является актуальным из-за высокой динамики береговой линии, а также фашиальной изменчивости литологического состава и льдистости мерзлых пород.

Совокупность взаимодействующих, не до конца изученных факторов требует дальнейшего уточнения имеющихся и накопления новых данных, что позволит лучше понять механизм и оценить

интенсивность процессов, происходящих в прибрежно-шельфовой области арктических морей.

### Литература

**Арэ Ф.Э.** Переработка берегов в зоне распространения многолетнемерзлых горных пород // Междунар. конф. по мерзлотоведению: Докл. и сообщ. Якутск, Кн. изд-во, 1973, вып. 2, с. 5–10.

**Арэ Ф.Э.** Термоабразия берегов: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 1979, 37 с.

**Арэ Ф.Э.** Термоабразия морских берегов. М., Наука, 1980, 160 с.

**Васильев А.А., Покровский С.И., Шур Ю.Л.** Динамика термоабразионных берегов Западного Ямала // Криосфера Земли, 2001, т. V, № 1, с. 44–52.

**Григорьев Н.Ф., Ермаков О.В.** Особенности береговых процессов на Ямало-Гыданском побережье Карского моря // Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, Наука, 1984, с. 28–31.

**Гуревич В.М.** Применение метода натуральных моделей для прогнозирования переработки термоабразионных берегов водохранилищ // Там же, с. 105–110.

**Ермолаев А.И.** К вопросу о разработке единой типологической классификации берегов водохранилищ // Труды Координац. совещания по гидротехнике. Л., 1976, вып. 107, с. 121–127.

**Ермолаев А.И.** Анализ роли основных факторов и условий процесса абразионного переформирования берегов // Труды Координац. совещания по гидротехнике. Л., 1977, вып. 122, с. 201–207.

**Ермолаев А.И.** Классификация термоабразионных берегов водохранилищ и прогнозирование их переработки // Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, Наука, 1984, с. 85–92.

**Жигарев Л.А.** Роль термоабразии и термоденудации в разрушении берегов // Там же, с. 77–81.

**Жигарев Л.А., Совершаев В.А.** Термоабразионное разрушение Арктических островов // Там же, с. 11–13.

**Кальянов В.П.** Геоморфологические и гидрологические наблюдения на экспедиционном судне Альбатрос летом 1932 г. в Обь-Енисейской губе и прилегающей части Карского моря // Землеведение, 1934, т. 36, кн. 3, с. 211–255.

**Природные условия Байдарацкой губы.** Основные результаты исследований для строительства подводного перехода. М., ГЕОС, 1997, 432 с.

**Шур Ю.Л., Васильев А.А., Вейсман Л.И. и др.** Новые результаты наблюдений за разрушением берегов в криолитозоне // Береговые процессы в криолитозоне. Новосибирск, Наука, 1984, с. 12–19.

**Reimnitz E., Graves S.M., Barnes P.W.** Map showing Beaufort Sea coastal erosion, sediment flux, shoreline evolution and erosional shelf profile. Washington, D.C., USGS Miscellaneous Map 1-1182-G, 1:82 000 with text, 1988.

*Поступила в редакцию  
20 марта 2008 г.*