

ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕГРАДАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ (ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ЭКСПЕДИЦИЙ 2014–2016 гг.)

М.Н. ГРИГОРЬЕВ

Институт мерзлотоведения СО РАН, г. Якутск, e-mail: grigoriev@mpi.ysn.ru

В прибрежной зоне морей Лаптевых и Восточно-Сибирского происходят заметные изменения криологического комплекса (многолетнемерзлотные породы подводной мерзлоты, льдистые берега), которые сопровождаются выносом органического вещества в море. Отмечается деградация кровли субаквальных многолетнемерзлых пород. Средняя скорость понижения кровли за весь период растепления находится в диапазоне от долей сантиметра до 40 см в год. Криогенные рельефообразующие процессы на берегах морей Восточной Сибири (термоабразия, термоэрозия и др.) приводят к сокращению прибрежной суши ежегодно на 10–11 км². Средняя скорость отступления берегов составляет 1–5 м/год и не превышает 10 м/год. Максимальные значения могут достигать 25 м/год. Усиление темпов разрушения термоабразионных берегов произошло в период с 2000 г. до 2009 г. Поступающая масса наносов и органического материала для морей Лаптевых и Восточно-Сибирского составляет 62 и 90 млн т в год осадков и 1,6 и 2,4 млн т в год органического углерода. Экспедиционные исследования 2016 г. на базе НИС «Остров Самойловский» включали буровые работы, георадарные съемки на буровых профилях в дельте реки Лены. Глубина бурения достигала 24 м. При бурении талых подрусловых грунтов сквозь водную толщу глубиной 7–9 м наблюдался длительный выброс метана (около получаса).

Ключевые слова: море Лаптевых, Восточно-Сибирское море, подводная мерзлота, льдистые берега, термоабразия, вынос органического материала, отступление берегов, НИС «Остров Самойловский».

В береговой зоне и на шельфе арктических морей Восточной Сибири, включая устьевые зоны крупных рек, отмечаются значительные темпы деградации многолетнемерзлых пород (ММП), термоабразии и термоденудации льдистых берегов. Разрушение берегов приводит к формированию суспензионных потоков и выносу большой массы углерода. Исследования этих процессов ведется достаточно давно, а в последние годы используются возможности научно-исследовательской станции «Остров Самойловский». В 2014–2016 гг. были получены новые данные, расширяющие существующие представления и уточняющие количественные оценки.

МОРСКОЕ ПОБЕРЕЖЬЕ

Анализ динамики погружения кровли подводной мерзлоты по основным буровым профилям показывает, что скорость деградации субаквальных многолетних мерзлых пород (СММП) сверху весьма неравномерна в разных частях подводного склона. Средние скорости проседания протаивающей кровли СММП, как упоминалось, меняется от долей сантиметра до 40 см в год. Для примера приведем расчет

Средняя скорость понижения верхней границы ММП, погруженных под уровень моря (за весь период субаквального растепления)

Расстояние от уреза моря, м (L)	Средняя скорость отступления берега, м/год (V_0)	Время вступления данного участка в контакт с морскими водами, годы ($T = L / V_0$)	Абсолютная высота кровли СММП, м (H)	Средняя скорость деградации СММП сверху, м/год ($V_d = H/T$)	Средняя скорость деградации СММП сверху, между соседними скважинами, м/год
Профиль 1: Подводный береговой склон, прилегающий к северному мысу о. Муостах					
65	13	5,0	-1,0	0,2	0,3 max
100	13	7,7	-1,8	0,23 max	0,14
200	13	15,4	-2,9	0,19	0,18
300	13	23,1	-4,3	0,186	0,09
400	13	30,1	-4,9	0,16	-0,58 (инверсия)
420	13	32,3	-4,0	0,12	0,62 (инверсия)
500	13	38,5	-7,9	0,21	-0,27 (инверсия)
600	13	46,15	-5,8	0,13	0,15
850	13	65,4	-8,6	0,13	0,074
2500	13	192,3	-18,0	0,09	
Средняя скорость понижения кровли СММП:					
Профиль 2: Подводный береговой склон, прилегающий к северо-восточному побережью Быковского п-ова (урочище Мамонтовый-Хаята)					
150	3	50	-3,5	0,07	0,05
300	3	100	-6,0	0,06	0,055
420	3	140	-8,8	0,06	0,03
850	3	283	-12,8	0,045	0,045
3000	3	1000	-45	0,015	
Средняя скорость понижения кровли СММП:					
Профиль 3: Подводный береговой склон, прилегающий к берегу в районе мыса Мамонтов Клык, профиль 2003 г.					
400	5,8	69,0	-3,6	0,05	0,065
600	5,8	103,4	-5,85	0,06	0,07
1000	5,8	172,4	-10,5	0,06	0,13
1300	5,8	224,1	-17,2	0,08	
Средняя скорость понижения кровли СММП:					
Профиль 4: Подводный береговой склон, прилегающий к берегу в районе мыса Мамонтов Клык, профиль 2005 г.					
500	4,5	111,1	-2,8	0,025	0,09
1000	4,5	222,2	-3,9	0,018	0,018
3000	4,5	666,7	-12,0	0,018	0,012
11500	4,5	2 555,6	-35,5	0,014 min	
Средняя скорость понижения кровли СММП:					
Средняя скорость понижения кровли СММП по 4 профилям:					
				0,019	0,04
				0,074	0,08

средней скорости понижения верхней границы ММП (табл. 1), погруженных под уровень моря, вблизи о. Муостах и п-ова Быковский в губе Буор-Хая моря Лаптевых, а также два профиля вблизи мыса Мамонтов Клык. Для расчета необходимы такие параметры, как среднемноголетняя скорость отступления берега, расстояние скважины до уреза моря и абсолютная высота кровли СММП на определенном участке.

Скорость деградации кровли СММП понижается с увеличением перекрывающего их слоя талого донного грунта и понижением температуры придонного слоя воды к нижней части подводного берегового склона. Самые высокие скорости деградации СММП отмечаются в мелководной части берегового склона, а на большем удалении от берега при увеличении глубин, мощности вышележащего талого чехла и, как правило, понижения температур придонной воды скорости растепления верхних горизонтов СММП уменьшаются в 2–3 раза. Такое явление характерно почти для всех типов подводного склона. В связи с этим практически во всех приведенных в работе разрезах кровля СММП имеет вогнутый профиль.

Протаивание льдонасыщенных грунтов, слагающих субаквальные террасы подводного берегового склона, должно вызывать некоторую просадку дна, количественное значение которой определить весьма сложно, поскольку в пределах мелководья активно протекают абразионные и аккумулятивные процессы, а просадки обычно компенсируются большим потоком береговых наносов. Кровля СММП в мелководной зоне подводного профиля может быть очень неровной, с выступами и западинами. Такую морфологию кровли можно связать с первоначальными неровностями рельефа или с существованием небольших таликов под полигональными озерами, а также с локальными размывами и избирательно активными просадками СММП на литорали и мелководье. В целом в пределах подводного берегового склона, прилегающего к льдистым берегам, средний темп понижения кровли СММП (за весь период растепления) составляет от долей сантиметра до 40 см в год.

Средние скорости деградации (понижения кровли) реликтовых СММП на прибрежном шельфе исследуемых морей составляет 0,074 м в год. Средний уклон этой кровли от берега в сторону моря составляет 0,011 (или 0,62°). По всему разрезу морских скважин (морская вода, переработанные донные, протаявшие толщи и СММП) до глубины 65–100 м имеют небольшие отрицательные температуры –1,5... –0,7 °С.

УСТЬЕВЫЕ УЧАСТКИ РЕК

В 2016 г. были проведены экспедиционные работы по исследованию подводной мерзлоты под протоками устьевой области р. Лены в Булунском районе Республики Саха (Якутия) на базе арктической научно-исследовательской станции «Остров Самойловский». В ходе работ использовались буровые установки УРБ-4Т, а также осуществлялось геофизическое зондирование русловых отложений по буровым профилям с помощью Георадара SIS System-3000 с антеннами 40, 100 и 200 МГц.

Работы были сконцентрированы в пределах верхнего узла Туматской протоки в центральной части дельты Лены. Здесь был пройден буровой профиль № 2 длиной менее 1 км, состоявший из пяти скважин (рис. 1 цветной вклейки).

Этот профиль, в отличие от профиля 1, разбуренного в 2014–2015 гг., пройден по относительно глубоководному фарватеру протоки, прижимающемуся на данном участке к правому берегу.

Скважины бурового профиля вскрывают преимущественно русловые отложения (рис. 2 цвет. вклейки), представленные чередованием песков различной зернистости

и алевритов, а также захороненными древесными остатками мощностью до 2–3 м. Мощность речного льда составляла в среднем 2 м.

В скважинах 1с-16, 2с-16 и 3с-16 бурение производилось через водную толщу глубиной от 7 до 9 м, по талым грунтам. По завершении скважины 1с-16 после подъема бурового снаряда был зафиксирован длительный (около получаса) выброс природного газа (метана) из скважины (рис. 3 цвет. вклейки).

Такие газовые факелы обнаруживаются при бурении в исследуемом регионе довольно часто, как в прибрежной зоне моря, так и под руслами протоков, при нарушении буровым снарядом плотного несколько-метрового глинисто-илистого слоя донных отложений, служащего определенным препятствием для восходящих газов. Эти газы поступают с некоторых глубин из недр или могут иметь местное происхождение, например при разложении органики, содержание которой доходит в подрусловых толщах до 30 весовых процентов (рис. 4 цвет. вклейки). Затем метан сосредотачивается в нижележащих талых, обычно песчаных, толщах и при разрушении верхнего илистого пласта в значительных количествах выходит в воду, а затем в атмосферу.

По морским скважинам ситуация практически аналогичная. Как оказалось, именно в верхней части песчаных толщ сосредотачиваются скопления метана, поступающие при разложении многочисленных включений нижележащих прослоев органики, а также, возможно, поступающие через вяло-мерзлые, частично талые, трещиноватые или неплотные многолетнемерзлые породы шельфа. Например, в морской скважине 1Д15 губы Буор-Хая был зафиксирован довольно продолжительный (около 30 минут) горящий газовый факел, высота которого составляла около 20–40 см (в верхней части он имел голубой цвет). Газовый выход был зафиксирован в скважине при глубинах проходки в интервале 13–16 м. Анализ проб воздуха у устья скважины показал, что концентрация метана в них составляла до 45 %. Существенным препятствием для быстрого выхода накапливающегося газа в воду и затем в атмосферу, по-видимому, служат плотные придонные слои суглинков и илов, мощность которых в месте бурения была около 4 м (с 9,5 до 13,5 м). Такие газовые факелы не редкость при бурении на шельфе в разных диапазонах глубин проходки. При этом они фиксируются, как правило, случайно, при прогреве бурового снаряда, для облегчения выхода керна из колонковой трубы. Вполне возможно, что при специальных исследованиях газовых выбросов из скважин выявление таких факелов может стать частым явлением.

Скважина 4с-16 на профиле 2 в дельте р. Лены была пробурена до глубины 17,80 м. Мощность снежного покрова составила 0,95 м, речного льда 1,75 м, далее талые горизонты песков и илов, обогащенные органическими остатками в виде древесных фрагментов до глубины 7,00 м. С 7,00 м до 17,10 м грунты мерзлые, криотекстура в песках массивная (лед–цемент), а в алевритах микро-, среднешлифовая. По всей толще наблюдаются горизонты древесного детрита мощностью от 2–3 мм до 0,4–0,6 м. У забоя на интервале 17,10–17,80 м грунты талые. Температура грунтов на глубине 7,5 м достигала $-0,25^{\circ}\text{C}$, а на глубине 17,5 м — $-0,41^{\circ}\text{C}$.

Скважина 5с-16 была пробурена до глубины 23,90 м. Вскрытые отложения представлены песками различной зернистости и алевритами с прослоями древесного детрита. Криотекстура в песках массивная (лед–цемент), а в алевритах и в детрите микро-, среднешлифовая. На интервале 21,00–21,50 м наблюдается горизонт торфа. Температура грунтов на глубине 5 м достигала -13°C , на 10 м — -6°C , на 15 м — 4°C и на глубине 24 м — -2°C .

По материалам бурового профилирования краевая граница талика оказалась крайне сложной, совсем не классического вида, а с двумя тальми зонами-выступами по вертикали, внедряющимися в мощную мерзлоту суши (температура ММП около -10°C , мощность ММП около 500 м) на десятки метров (рис. 5 цвет. вклейки).

Результаты бурения были заверены геофизическим зондированием (Георадар SIS System-3000), которое показало близкий (к буровому профилированию) контур границ таликовых зон.

В начале сентября 2016 г. с помощью стандартного мерзлотного щупа исследовались ключевые участки на мелких протоках, где подводная мерзлота залегает, как правило, на небольших глубинах. Как пример, приведем результаты работ на небольшой протоке Ысы-Хая-Тебюлеге, соединяющейся с крупной Оленёкской протокой (рис. 6 цвет. вклейки).

Здесь кровля ММП залегает всего лишь на глубине не более 1 м от поверхности дна протоки при глубине воды в ней не более 1 м. Такая ситуация на мелких или мелководных протоках (или же на мелководьях крупных проток) встречается повсеместно. Длинная, суровая зима, мощное промерзание через лед, толщина которого достигает к весне 2,5 м, короткое прохладное лето — вот набор основных причин повсеместного развития многолетнемерзлых пород под обширными мелководьями в арктических дельтах.

Следует подчеркнуть, что использование техники, приборов и оборудования НИС «Остров Самойловский» позволило провести успешный полевой сезон и получить хорошие результаты по изучению подводной мерзлоты и подрусловых таликов.

ПОСТУПЛЕНИЕ ОРГАНИЧЕСКОГО МАТЕРИАЛА ИЗ БЕРЕГОВОЙ ЗОНЫ НА ШЕЛЬФ МОРЕЙ ЛАПТЕВЫХ И ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО

В морях Лаптевых и Восточно-Сибирском, вследствие активного разрушения берегов и, в особенности, ледового комплекса, на значительной части прилегающего шельфа формируются суспензионные потоки и выносятся большие массы углерода. В отличие от морей Восточной Сибири, в других арктических морях основным источником выноса терригенного материала являются не берега, а реки.

За период с 1951 по 2015 г. пик скоростей термоабразии и термоденудации берегов пришелся на 2007–2009 гг. На многолетних мониторинговых участках скорости термоденудации и термоабразии льдистых берегов в регионе за последние три года (2013–2015) несколько сократились и приблизились к среднемуголетним, несколько превышая их. В последние годы темпы разрушения этих берегов стали значительно ниже, чем в 2005–2011 гг. Увеличение скоростей отступления берегов, вызванное потеплением климата в регионе и, как следствие, уменьшением площади сплоченных морских льдов, усилением штормовой активности и увеличением мощности сезонно-талого слоя на береговых склонах, позволяет предполагать, что вынос массы материалов из берегов в море в последнее десятилетие также существенно возрос.

На основе многолетних исследований и детальной сегментации берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского для этого региона была сформирована береговая база данных. Она освещает следующие параметры береговой зоны: номер берегового сегмента (с запада на восток), местоположение сектора, географическая привязка крайних точек сегмента, географические координаты крайних точек сегмента, основные береговые формы рельефа, преобладающие типы динамического развития берегов, преобладающие литологические типы пород, слагающих берега, длина береговой линии секции (км), средняя высота бровок береговых уступов или береговых склонов (м), средний темп разрушения

берегов или перемещения береговой линии (м/год), среднее объемное содержание льда в породах, слагающих берега (%), средняя плотность сухого скелета пород, слагающих берега ($\text{г/см}^3 - \text{т/м}^3$), масса обломочного материала, выносимого из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год), среднее весовое содержание органического углерода в береговом обломочном материале (%), масса органического углерода, выносимого из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год), краткая информация по специфическим ключевым участкам, выходящим по некоторым параметрам из структурной формы базы данных (береговые ледники, лагуны, отсеченные от моря барьерами, небольшие острова, попадающие в континентальный береговой сегмент, и т.д.), иллюстративный материал по ключевым участкам, суммарные характеристики для морей.

Определение принципов сегментации побережий арктических морей, начало ее разработки и создание на ее основе береговой базы данных были осуществлены нами на примере морей Лаптевых и Восточно-Сибирского. Сегментация обозначает разделение береговой зоны на определенные участки, характеризующиеся определенным набором параметров, достаточно типичных именно для данного берегового сектора и отличающихся по комплексу этих параметров от соседних участков.

Основные принципы выделения берегового сегмента:

1) примерно одинаковый динамический режим в пределах берегового отрезка, то есть, если не учитывать локальные участки с другим динамическим режимом, то в целом в выбранном сегменте преобладает береговая эрозия (термоабразия), умеренная или активная, либо аккумуляция, либо берега в основном стабильны;

2) примерно одинаковое литологическое строение на большей части сегмента;

3) примерно один диапазон абсолютных высот преобладающего числа клифов и береговых склонов;

4) примерно одинаковое геокриологическое строение на преобладающей части сегмента (прежде всего льдистость пород), например, ледовый и термокарстовый комплексы, практически не льдистые коренные породы, четвертичные дельтовые отложения с относительно небольшим содержанием льда, грубообломочные толщи с низкой льдистостью и т.д.

Главными критериями при выделении береговых сегментов на участках побережья, которые полевыми методами не были изучены, были наш собственный экспедиционный опыт и накопленный материал при работе на подобных (по литологическим, геокриологическим, геоморфологическим и динамическим условиям) ключевых береговых участках. Выделенные береговые сегменты представлены на прилагаемых схемах (рис. 8 цвет. вклейки).

Основные криогенные геоморфологические процессы на изучаемых нами берегах, термоабразия, термоэрозия, солифлюкция, обычно протекают в парагенезе с обычными геоморфологическими процессами — абразией, эрозией, гравитационными процессами на склонах и т.д. В районах распространения ледового комплекса можно наблюдать изменение различных элементов криогенного рельефа за относительно короткие промежутки времени. Анализ данных таких наблюдений и материалов дистанционных исследований позволяет уверенно судить о тенденциях изменения береговой линии и об интенсивности развития криогенных береговых процессов в связи с различными местными факторами. К основным факторам, определяющим динамику переработки берегов, принято относить мощность, продолжительность и направленность гидрологических и метеорологических процессов, батиметрические параметры берегового подводного склона, конфигурацию береговой линии, высоту и крутизну берегового уступа, геокриологическое и литологическое строение берегов.

Береговая база данных позволила с достаточной точностью рассчитать поступающую в акваторию арктического бассейна массу наносов и органического материала из разрушающихся берегов, как по отдельным береговым секторам, так и по морям Лаптевых и Восточно-Сибирскому в целом. Эти массы для двух морей составляют соответственно 62 и 90 млн т в год осадков и 1,6 и 2,4 млн т в год органического углерода. Проведенные расчеты показывают, что в азиатском секторе России, как и во всем арктическом регионе, береговой вынос наносов значительно превышает твердый речной сток, хотя уступает речному выносу в отношении органического углерода. Установлено, что береговой вклад органического углерода в арктическом бассейне превышает речной лишь в Восточно-Сибирском море. Такие источники обломочного материала и органического вещества, как оловый, ледовый вынос, грунтовые воды и влекомый речной материал, на один-три порядка меньше потоков из берегов и рек и не играют существенной роли в бюджете твердого стока с континента, как в Северный Ледовитый океан, так и в моря Лаптевых и Восточно-Сибирское.

Арктические берега Восточной Сибири теряют более 10 км² площади прибрежной суши в год. Наибольшая скорость отступления свойственна льдыстым берегам. Их разрушение обусловлено процессами термической денудации, абразии и эрозии, термического карста и криогенными склоновыми процессами в сочетании с другими процессами морфогенеза. Наиболее распространенными криогенными процессами на берегах морей Восточной Сибири являются термоабразия, термоэрозия, термокарст, солифлюкция (криосолифлюкция), морозобойное растрескивание, морозное пучение, криогенное выветривание, морозная сортировка материала, нивация, курумообразование, криогенный крип. Обычно комплекс криогенных деструктивных процессов определяется как термоденудация.

К основным факторам, определяющим динамику переработки берегов, принято относить мощность, продолжительность и направленность гидрологических и метеорологических процессов, батиметрические параметры берегового подводного склона, конфигурацию береговой линии, высоту и крутизну берегового уступа, геокриологическое и литологическое строение берегов.

Средние скорости термоабразии, установленные на ключевых участках морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, как правило, не превышают 10, а чаще составляют 2–5 м/год, максимальные — до 25 м/год. Однако в течение лишь одного сильного и продолжительного шторма отступление бровки термоабразионного берегового уступа может достигать нескольких метров. Известны случаи, когда при крупно-блоковом (полигональном) характере разрушения суша теряет до 20 метров за шторм.

Льдистые берега особенно активно реагируют на происходящие в настоящее время климатические изменения в арктическом регионе. В последние годы особенно заметное усиление береговых процессов отмечается на ключевых участках на побережье центральной части моря Лаптевых. Это выразилось в массовой активизации склоновых процессов, прежде всего солифлюкции на прежде стабильных, задренованных берегах. Произошло резкое усиление темпов разрушения термоабразионных берегов. С периода 1997–2002 до 2007–2009 гг. скорость их отступления превысила на нескольких мониторинговых участках среднемноголетние нормы в 1,5–2 раза. По наблюдениям на мониторинговых площадках в последние 3 года отмечается заметное снижение темпов разрушения льдистых берегов.

В августе–сентябре 2016 г. с использованием моторной яхты “Nicole” проведены исследования береговых процессов в дельте р. Лены, на Быковском п-ове, о. Муостах, мысе Мамонтов Клык в рамках многолетнего мониторинга по уточнению динамики развития криогенных процессов в береговой зоне (рис. 9 цвет. вклейки). Проведено опробование донных и береговых отложений в дельте Лены и в прибрежной зоне

моря на предмет изучения содержания и распространения органического углерода. Аналитические определения по собранным образцам в настоящее время проводятся в лабораториях Лимнологического института СО РАН.

Наблюдения, проведенные в августе 2013–2016 гг. на многолетних мониторинговых участках, показали, что скорости термоденудации и термоабразии льдистых берегов в регионе за последние два года несколько сократились, приблизились к среднемноголетним и стали значительно ниже, чем темпы разрушения этих берегов в 2005–2011 гг. (рис. 10 цвет. вклейки).

Измерение скоростей береговой эрозии в сентябре 2016 г. показало, что темпы отступления берегов с осени 2015 по осень 2016 г. на ключевых створах о. Муостах, на северо-восточном побережье и северном мысе составили около 3,7 и 8,5 м в год (при максимальных зарегистрированных, соответственно, 14 и 25 м в год), на северо-восточном побережье Быковского п-ова — 2,5 м в год (максимальные зарегистрированные — 11 м в год), в на мысе Мамонтов Клык — 4 м в год (максимальные зарегистрированные — 7,5 м в год).

В целом темпы отступления берегов примерно соответствуют изменению сезонной климатической обстановки в регионе, в частности динамики площади летних сплоченных льдов, влияющих на развитие штормовой активности в море Лаптевых. Установлено, что за период с 1951 по 2016 г. пик скоростей термоабразии и термоденудации берегов пришелся на 2007–2010 гг. Темпы отступления берегов примерно соответствуют изменению сезонной климатической обстановки в регионе, в частности динамики площади летних сплоченных льдов, влияющих на развитие штормовой активности в море Лаптевых. Следует подчеркнуть, что низкие скорости термоабразии и термоденудации берегов на ключевых участках объясняются рекордно холодным летом в исследуемом регионе и пониженной штормовой активностью моря в летний сезон 2016 г.

M.N. GRIGORIEV

STUDY OF PERMAFROST FORMATIONS DEGRADATION IN EAST SIBERIA COASTAL ZONE (SUBSEQUENT TO THE RESULTS OF EXPEDITIONS OF 2014–2016)

The noticeable changes in cryological complex (submarine permafrost formations, ice-covered banks) in the coastal zone of the Laptev and East Siberian Seas are accompanied by export of organic matter into the sea. The degradation of subaqueous permafrost formations roof rock has been observed. The average cover rate fall for the entire period of thawing is in the range of millimeters to 40 centimeters per year. Cryogenic relief-forming processes (thermoabroziya, thermoerosion, etc.) on the Eastern Siberia Sea coast lead to a reduction of coastal land annually by 10–11 km². The average rate of shore retreat is 5.1 m / year and not more than 10 m / year. The maximum values can reach 25 m / year. The acceleration of thermoabrasive shores destruction occurred in the period from 2000 to 2009. The sediment and organic matter flowing down to the Laptev Sea and East Siberian Sea is 62 and 90 million tons of precipitation and 1.6 and 2.4 million tons of organic carbon per year.

The expedition studies in 2016 on the basis of the research station “Ostrov Samoilovsky” included drilling, GPR survey on the drilling profiles at the Lena River delta. Drilling depth is 24 meters. When drilling of underflow thawed soil through the water column of 7–9 m, the long-term (about an hour) methane outburst was observed.

Keywords: Laptev Sea, East Siberian Sea, submarine permafrost, ice-covered banks thermoabrasion, export of organic matter, retreat of the shore, the research station “Ostrov Samoilovsky”.

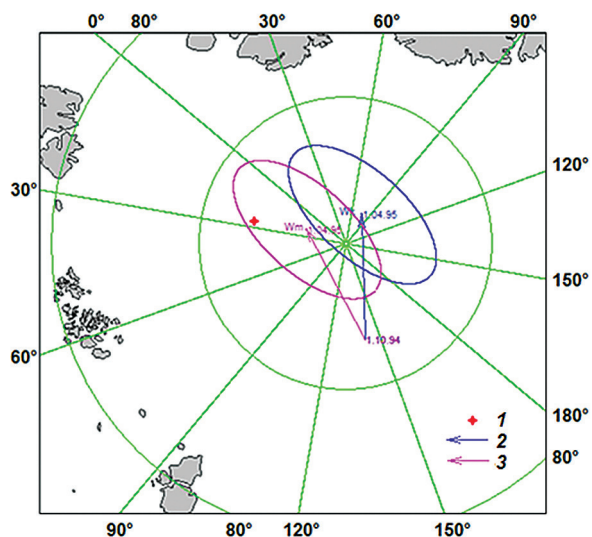


Рис. 4. Результаты оценки расчета результирующего перемещения льда в период с 1 октября 1994 г. по 1 апреля 1995 г. (буй № 63661).

1 — фактическое положение буй в конце расчетного периода; 2 — вектор результирующего перемещения льда, рассчитанный по климатическим данным; 3 — вектор результирующего перемещения льда, рассчитанный по изложенному методу.



Рис. 1. Спутниковый снимок о. Самойловский, оранжевыми линиями обозначены места расположения буровых профилей.

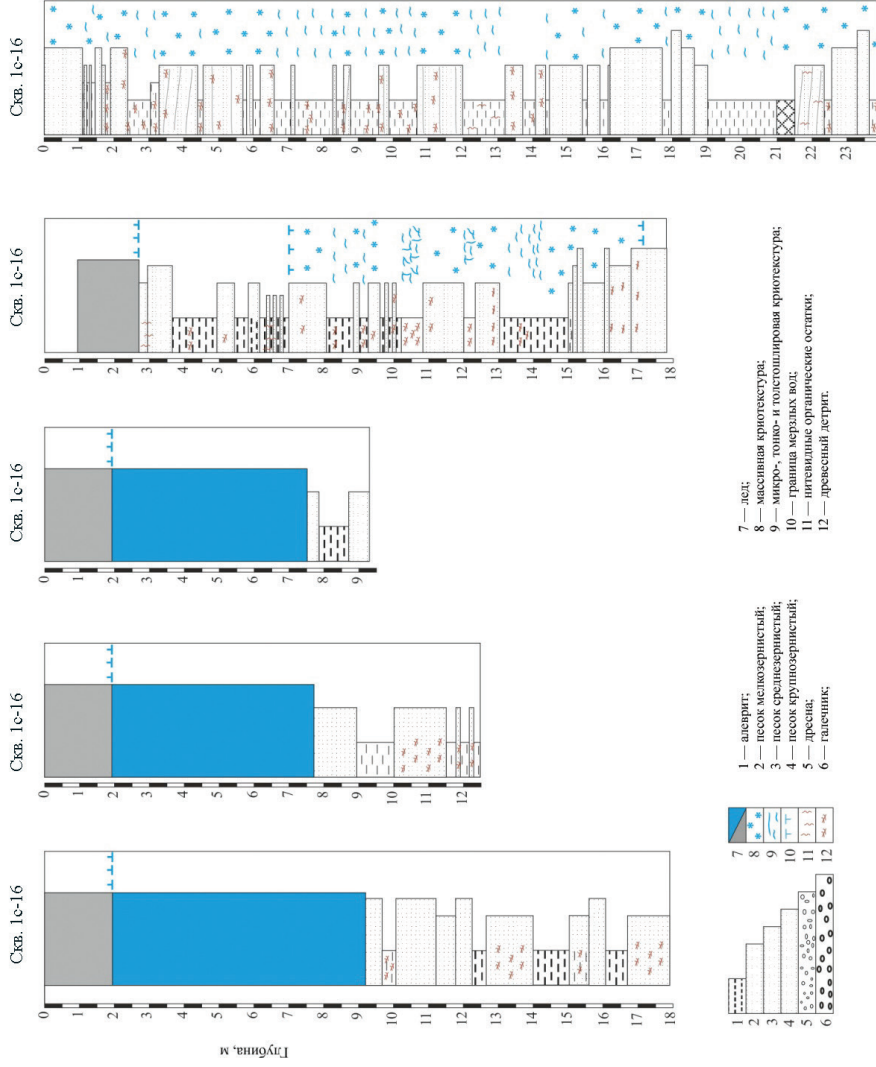


Рис. 2. Разрезы скважин бурового профиля 2, апрель 2016 г.



Рис. 3. Длительный выброс метана из скважины 1с-16, поднимающегося из пробуренных талых подрусловых грунтов через толщу речной воды (4,5 м) и речной лед (2 м), апрель 2016 г.



Рис. 4. Керн подрусловых песчаных аллювиально-дельтовых толщ обычно насыщен частыми слоями органического материала. Скв. 3с-16.

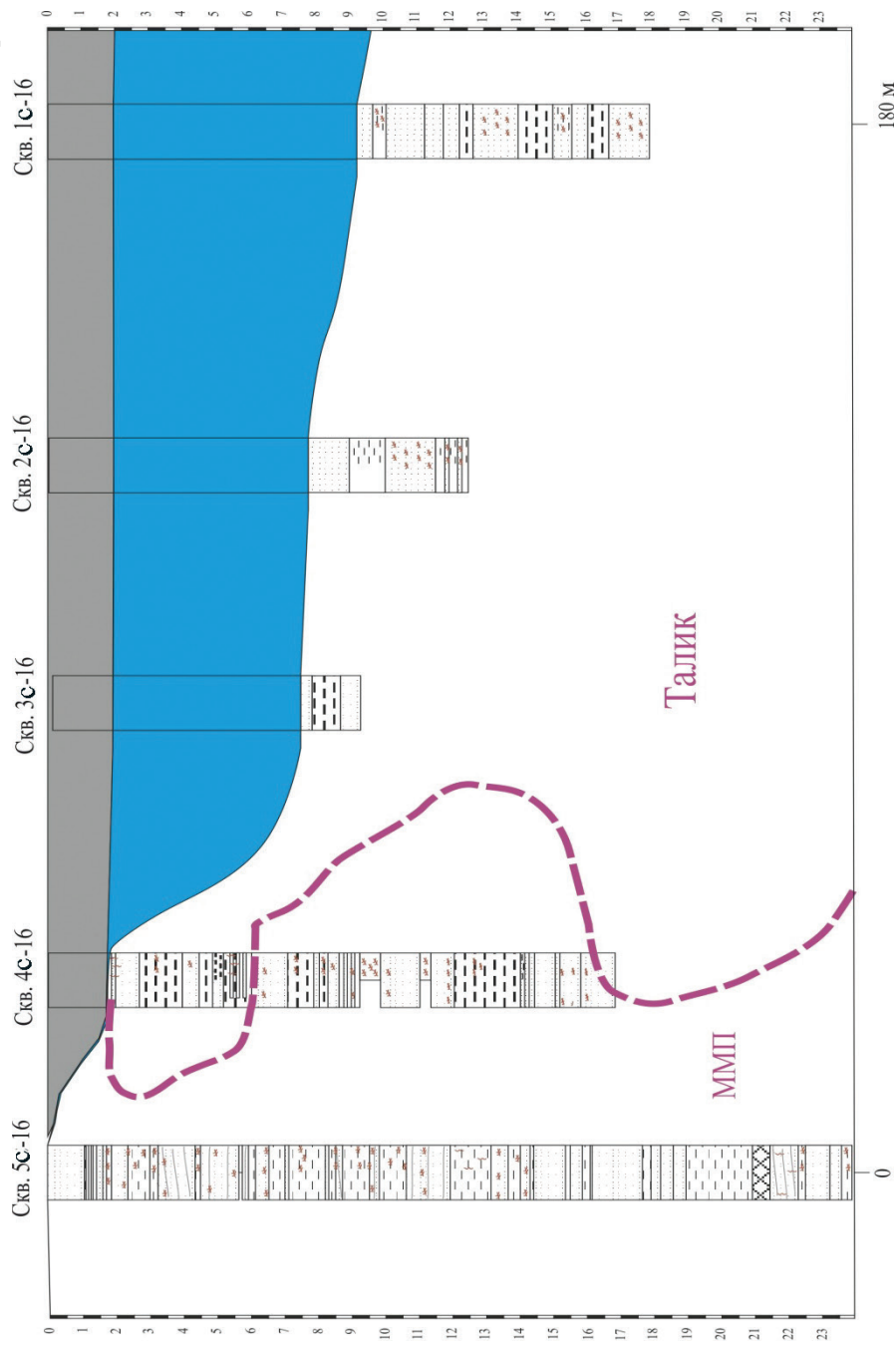


Рис. 5. Буровой профиль через Большую Туматскую протоку: красная прерывистая линия — граница талых и мерзлых пород, апрель 2016 г.



Рис. 6. Профиль через протоку Ысы-Хая-Тебюлеге для исследования кровли подводной мерзлоты, сентябрь 2016 г.

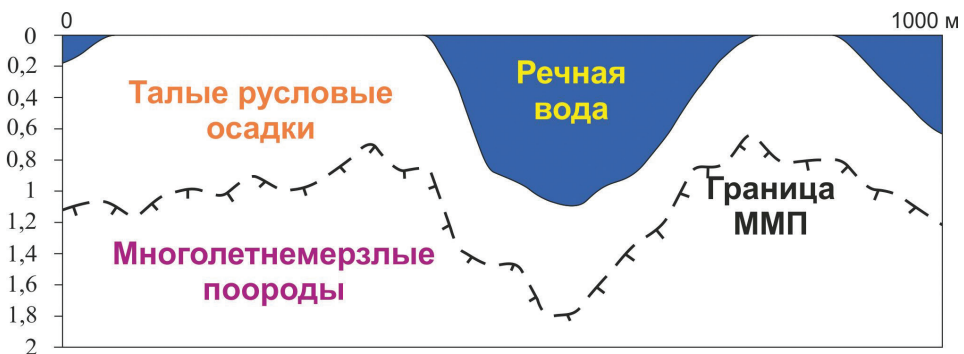


Рис. 7. Профиль дна и кровли ММП в протоке Ысы-Хая-Тебюлеге, сентябрь 2016 г.

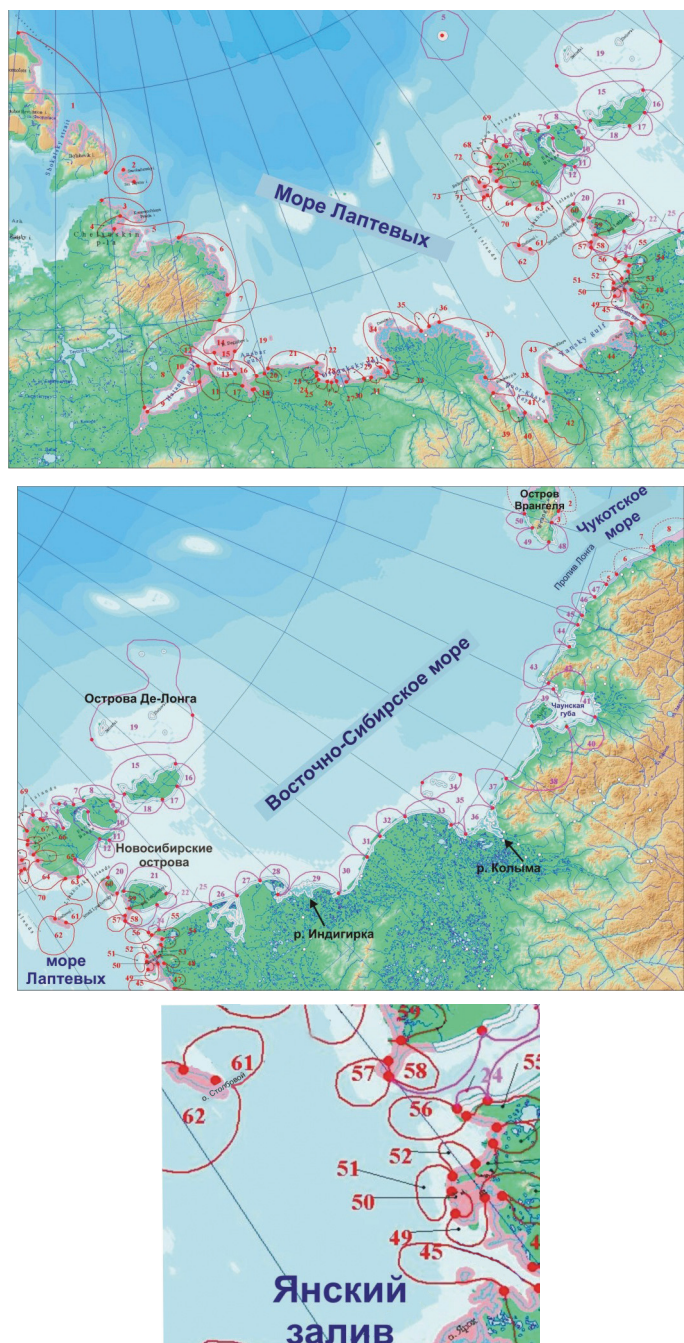


Рис. 8. Основные береговые сегменты, выделенные на побережье морей Лаптевых и Восточно-Сибирского для формирования береговой базы данных. Внизу — увеличенный фрагмент схемы сегментации берегов на границе морей Лаптевых и Восточно-Сибирского.



Рис. 9. Маршрут экспедиции и ключевые точки исследований, август–сентябрь 2016 г.

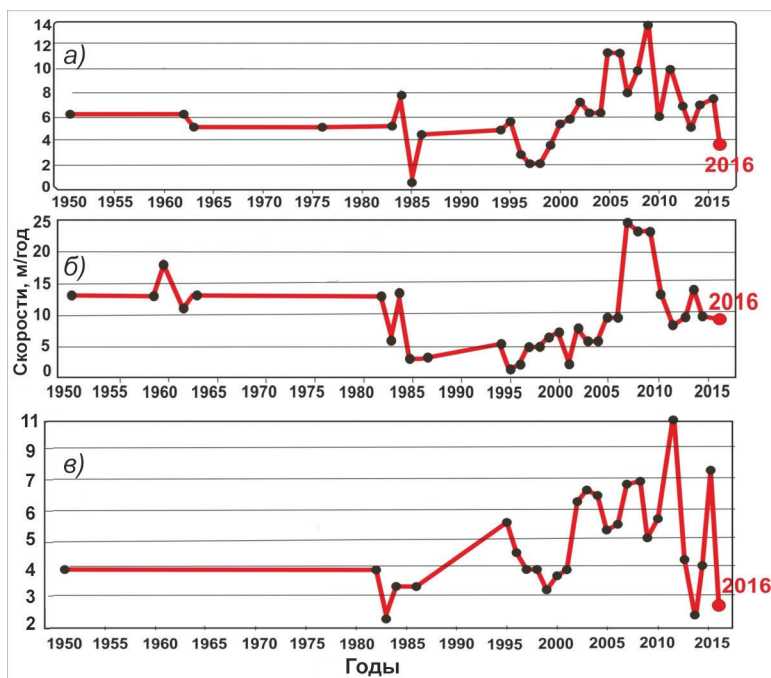


Рис. 10. Многолетние скорости отступления льдистых берегов на мониторинговых площадках в центральной части побережья моря Лаптевых: а) — о. Муостах (северо-восточное побережье); б) — о. Муостах (северный мыс), в) — Быковский п-ов (урочище Мамонтов-Хаята).