КАДАСТР И БЕРЕГОВАЯ БАЗА ДАННЫХ МОРЕЙ ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

Григорьев М.Н.
Институт мерзлотоведения СО РАН, Якутск, Россия, **Grigoriev@mpi.ysn.ru**

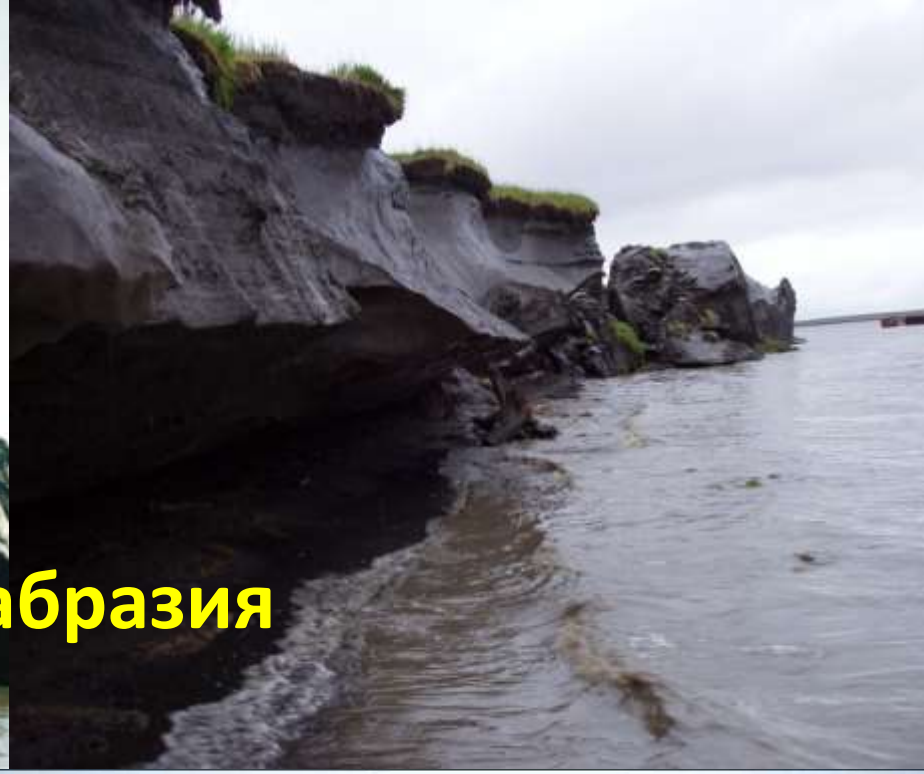
Када́стр (фр. *cadastre*) — упорядоченный список, реестр каких-либо важных объектов, официально составляемый государством на основании данных наблюдений, осуществляемых периодически или непрерывно. По сути, касаемо морских берегов, это и есть база данных.

АРКТИЧЕСКАЯ ЯКУТИЯ

Восточно-Сибирское море

море Лаптевых

Ключевые участки изучения береговой эрозии (1982-2019)

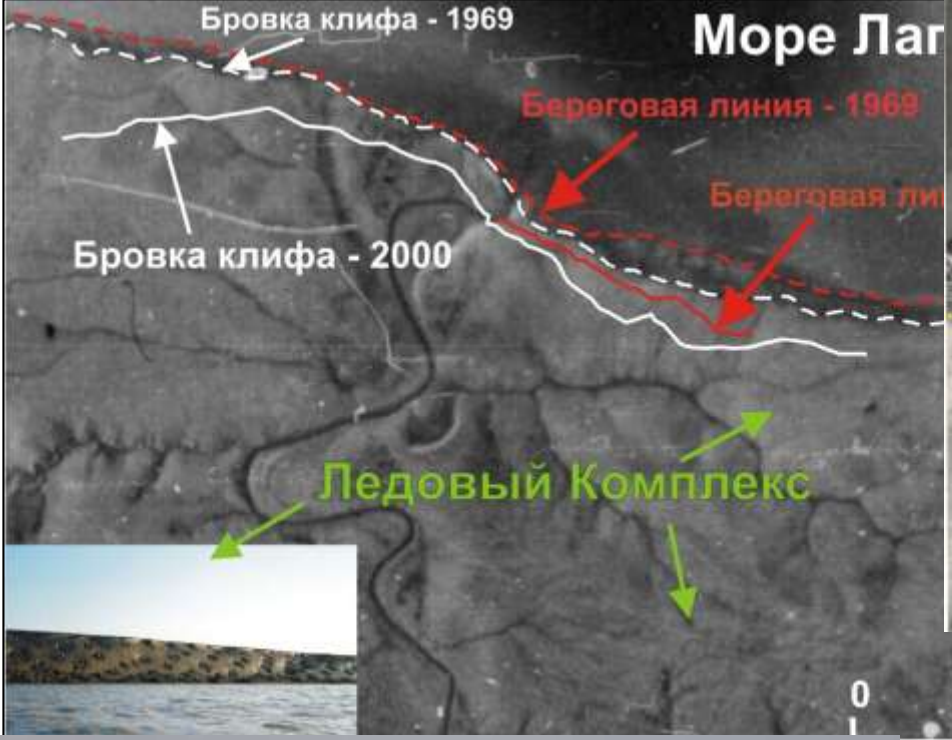


Термоабразия

Термоденудация берегов

Относительно стабильные берега

Вблизи бывшей полярной станции «Земля Бунге,
Новосибирский архипелаг

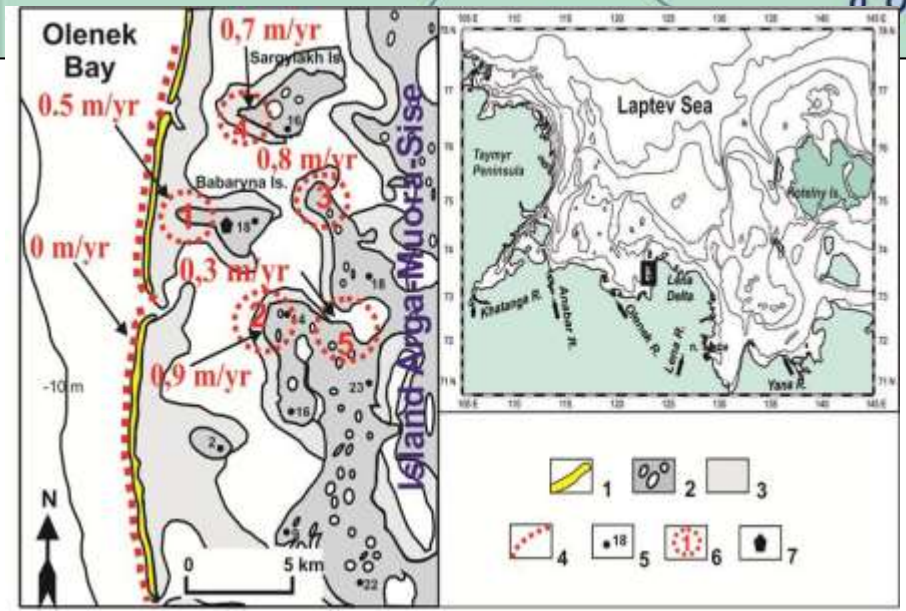

Бровка клифа - 1969
Море Лаг
Береговая линия - 1969
Бровка клифа - 2000
Ледовый Комплекс
0
750 м

залив Буор-Хая
N
1951 г.
1999 г.
Ледовый комплекс
Бровка клифа уступов ледового комплекса и аласа
Ледовый комплекс
Алас
0
100 м

Море Лаптевых
Береговая линия – 1969
Береговая линия – 2000
Бровка клифа – 2000
Ледовый Комплекс
N
0
750 м

Среднемноголетние скорости разрушения берегов в центральном секторе побережья моря Лаптевых

Среднемноголетняя скорость отступания берегов в бухте Тикси (м/год).



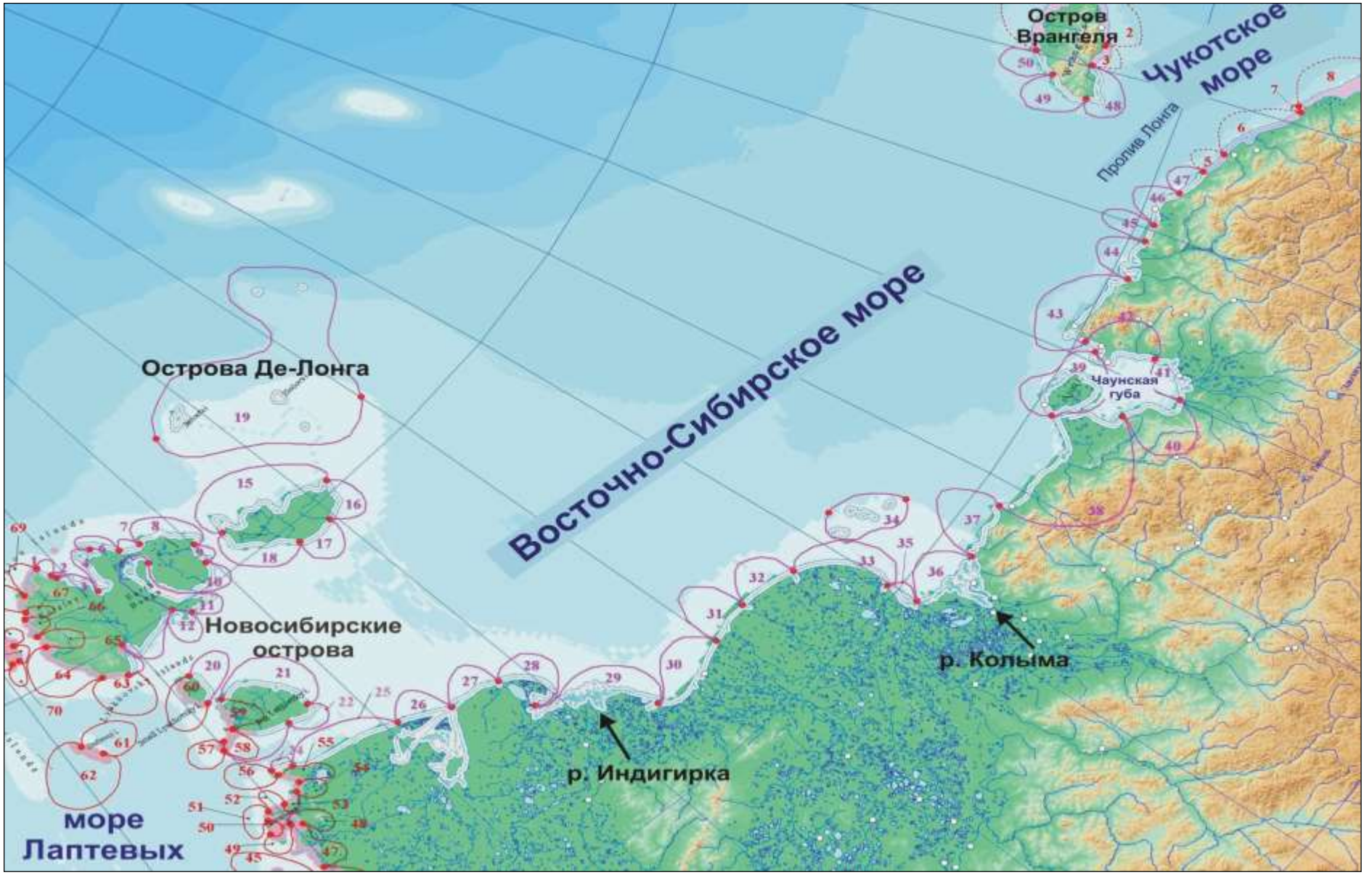
Скорость отступания берегов дельты Лены и прилегающих участков побережья (м/год).

Скорость отступания берегов моря Лаптевых на ключевых участках

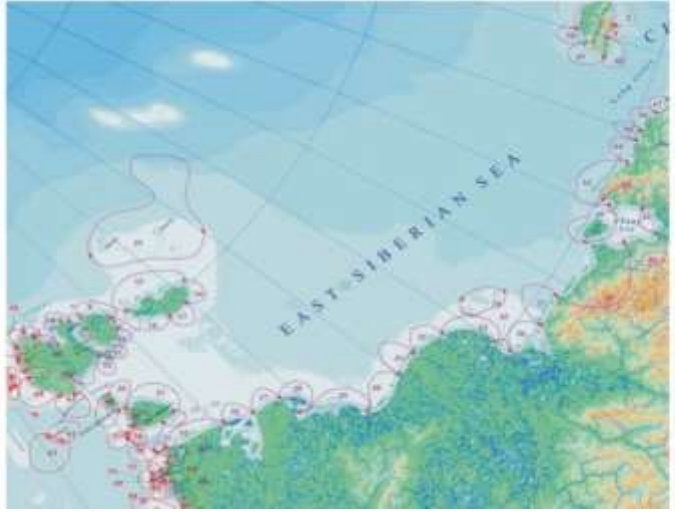
Сегментация берегов

Данные по мерзлотно-геологическому строению, морфологии и динамике береговой зоны обобщены в береговой базе данных

Сегментация берегов



Данные по мерзлотно-геологическому строению, морфологии и динамике береговой зоны каждого сегмента обобщены в береговой базе данных



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.

В пределах каждого из 124 береговых сегментов информационный слой разделен на следующие параметры:

1. Название моря;
2. Номер берегового сегмента (с запада на восток);
3. Местоположение сектора, географическая привязка крайних точек сегмента;
4. Географические координаты крайних точек сегмента;
5. Основные береговые формы рельефа;
6. Преобладающие типы динамического развития берегов;
7. Преобладающие литологические типы пород/осадков, слагающих берега;
8. Среднее расстояние от береговой линии до изобат 2, 5, 10, 100 м;
9. Длина береговой линии секции (км);
10. Средняя высота бровок береговых уступов или береговых склонов (м);
11. Средний темп береговой эрозии (м/год);
12. Среднее объемное содержание льда в породах, слагающих берега (%).
13. Средняя плотность сухого скелета пород, слагающих берега (г/см^3 – т/м^3);

14 – Масса (поток) обломочного материала (минерального и органического), выносимого из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год);

15 – Среднее содержание органического углерода в береговом материале (весовые %);

16 – Масса органического углерода, выносимая из разрушаемых берегов на шельф за один год (т/год);

17 – 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 континентальны береговой сегмент и т.д.); 18 – иллюстративный материал

Основные параметры для расчетов:

L, длина береговой секции (м, км); H, средняя высота берегового уступа/склона (м); V, средний темп эрозионного отступания берега (м/год); W, среднее объемное содержание льда в породе (%); D, средняя плотность пород (г/см^3 - т/м^3); C, среднее содержание органического углерода в породах (весовые %).

Объем породы (N, $м^3$), поступающий в течение года из одного из определенных береговых сегментов на шельф, рассчитывается по формуле:
$$N = L \bullet H \bullet V.$$

Чтобы получить объем скелета породы (N_D, $м^3$), из общего объема породы, вычитается объем влаги/льда (W, %):
$$N_D = N \bullet (1 - W).$$

Для установления массы эродируемого обломочного (минерального и органического) материала (M_S, m), высвобождаемого из берегового сегмента за год, и зная среднюю плотность пород (D, $m/м^3$), пересчитываем объем в массу:
$$M_S = N_D \bullet D.$$

Расчет массы органического углерода (M_C, m), содержащегося в определенной ранее массе всего обломочного материала (M_S, m), производится по следующей формуле:
$$M_C = M_S \bullet C.$$

Фрагменты береговой базы Восточно-Сибирского моря

H – средняя высота береговых уступов; W – средняя суммарная льдистость пород; V – средняя скорость отступания берегов; D – средняя плотность сухого скелета пород, слагающих берега; Vi - среднее объемное содержание льда в породах, слагающих берега; C – содержание органического углерода в береговых толщах; Ms - масса обломочного материала (минерального и органического), выносимого из разрушаемых берегов на шельф; Mc - масса органического углерода, выносимая из разрушаемых берегов на шельф.

Код	Береговые формы	H, м	Береговые отложения	W, %	Динамический тип береговых процессов	V, м/год	D, г/см^3	C, w %	M_S, т/год	M_C, т/год
1	Льдистые клифы, галечные пляжи, низкие берега	7	Пески, глинистые пески, галька, гравий, валуны, ледовый комплекс	40	Абразия, стабильные берега	1	1,4	2,5	158 760	3969
2	Скальные клифы, песчаные пляжи, марши	14	Скалы, валуны, песок, галька	0	Стабильные берега, аккумуляция	0,01	2	0,1	280	28
3.	Льдистые клифы, песчаные и илистые косы	10	Супеси, илы, пески, торф, ледовый комплекс, галька	50	Термоабразия, аккумуляция	2,5	1,27	4	1 365 250	54 610
4	Бары, пляжи, клифы	5	Голоценовые морские отложения (пески, илы)	10	Аккумуляция, стабильные берега	0	1,7	0,5	0	0
5	**Склоны**	**20**	**Морские отложения и плейстоценовый ледовый комплекс (алевриты, пески, торф)**	**35**	**Термоабразия, стабильные берега**	**1**	**1,6**	**2**	**270 400**	**4 208**

Код сегмента	Принадлежность побережья	Границы сегмента	Координаты (град.- минуты)		Протяженность, (км)
			Северная широта	Восточная долгота	
1	Новосибирские о-ва (НО), о-в Котельный	Мыс Анисий - Мыс Мурун Тас	76-11,6; 76-03,8	138-59,4; 139-25,2	27
2	НО, Остров Котельный	Мыс Мурун Тас - Сев.-Зап. Лагуна	76-03; 75-58,9	139-25,2; 139-36,5	10
3	НО, Остров Котельный	Северо-Западная Лагуна - Устье р. Драгоценная	75-58,9; 75-37,6	139-36,5; 140-31,2	86
4	НО, Остров Котельный	Устье р. Драгоценная - Урочище Ураса	75-37,6; 76-05,7	140-31,2; 141-30,1	215
5	**НО, Остров Котельный**	**Урочище Ураса - Мыс Бережных**	**76-05,7; 76-10,4**	**141-30,1; 141-22,2**	**13**

Соотношения длины береговых линий и параметров выноса материала из берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, с выделением секторов с ледовым комплексом (ЛК)

Моря	Длина береговой линии, км	Доля длины береговых сегментов ЛК в длине берегов всего моря (морей), %	Обломочный материал, тонн/год	Органический углерод, тонн/год
Лаптевых	7 514		62,2	1,63
Лаптевых (только ледовый комплекс)	1 776	24%	44,7 (72%)	1,5 (92%)
Восточно-Сибирское	5 989		92,2	2,4
Восточно-Сибирское (только ледовый комплекс)	3 258	54%	70 (78%)	2,3 (98%)
Для двух морей	13 503		152,4	4,02
ЛК	5 034	37%	114,7 (74%)	3,83 (95%)
Все моря Арктики			276	5,8
Доля выноса материала из морей Лаптевых и Восточно-Сибирского во всем арктическом береговом твердом потоке			55%	69%
Доля ледового комплекса двух морей в береговом потоке Арктики			42%	66%

Темпы разрушения берегов морей Восточной Сибири (включая стабильные берега), м в год

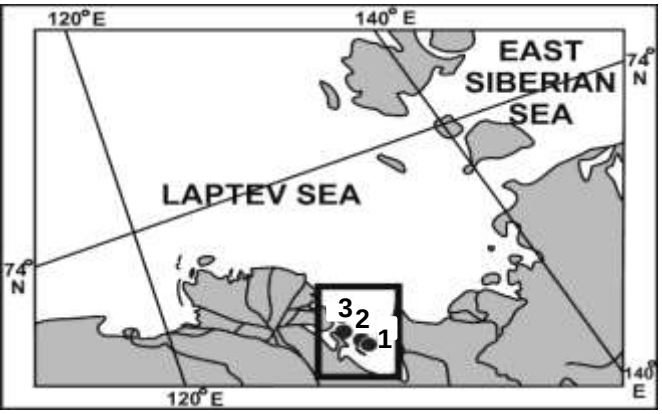
Береговые секции	Море Лаптевых	Восточно-Сибирское море
Не содержащие ледовый комплекс	0.3	0.3
Содержащие ледовый комплекс	1.9	1.6
Все побережье	0.7	1.0
Средняя скорость для двух морей	0.8	

Среднее весовое содержание органического углерода ($C_{орг}$) в береговых льдистых толщах на ключевых участках побережья морей Лаптевых и Восточно-Сибирского

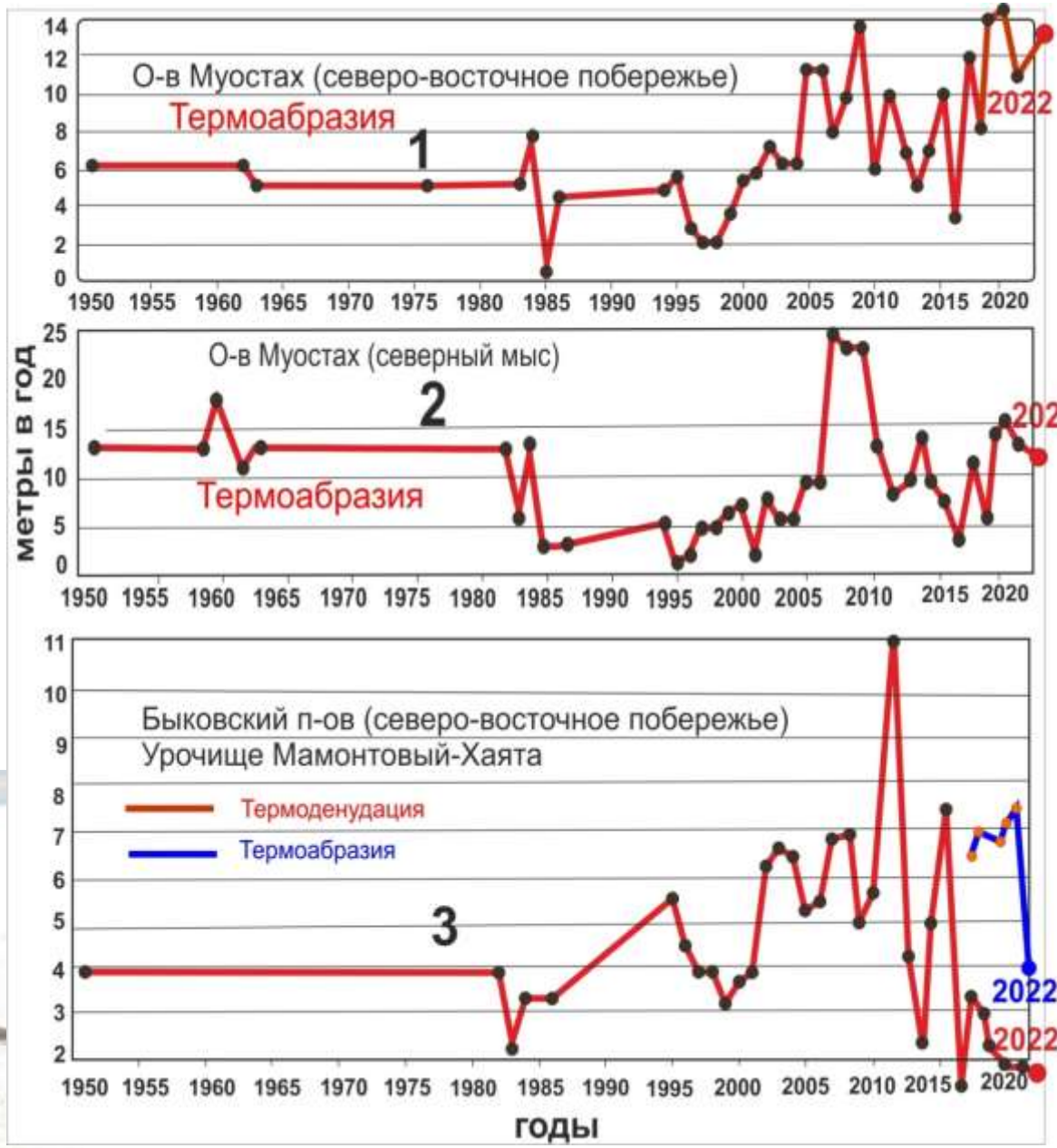
Ключевые участки и тип отложений	$C_{орг}$, %, максимальное значение	$C_{орг}$, %, минимальное значение	$C_{орг}$, % среднее стандартное отклонение	$C_{орг}$, среднее значение
Восточно-Сибирское море Бол. Ляховский остров, побережье у устья р. Зимовье:				
Ледовый комплекс (правая секция берега)	17.5	0.9	3.3	3.2
Ледовый комплекс (левая секция берега)	38.2	3.1	8.4	11.9
Аласные отложения (правая секция)	3.1	1.2	0.5	2.0
Аласные отложения (левая секция)	7.1	1.5	2.1	3.8
Море Лаптевых, Быковский п-ов, берега урочища Мамонтовый-Хаята:				
Аласные отложения	16.5	0.8	4.3	6.3
Ледовый комплекс	21.5	1.3	3.4	4.1
Море Лаптевых, дельта р. Лены, берега Оленекской протоки, о-в Эбе-Басын-Сисе, урочище Нагым:				
Ледовый комплекс	21.5	0.2	6.4	4.3
Море Лаптевых, дельта р. Лены, берега Оленекской протоки, о-в Курунгнах-Сисе, урочище Буор-Хая:				
Ледовый комплекс	21.6	1.1	6.8	9.2
Среднее значение для льдистых берегов на ключевых участках				4.0

Потоки наносов и органического углерода в Арктический бассейн в результате береговой эрозии и твердого стока рек ([1]Суздальский, 1974; [2]Васильев, 2006; [3]Органическое вещество, 1990; [4]данные по канадской части моря Бофорта: Macdonald et al. 1998, данные по берегам этого моря в США, Reimnitz et al., 1988, Naidu, 1985; [5]Gordeev et al., 1996, 2000; [6]Gordeev, Rachold, 2004; [7]Романкевич, Ветров, 2001, [8]Grigoriev et al., 2004, Григорьев и др., 2019, 2020)

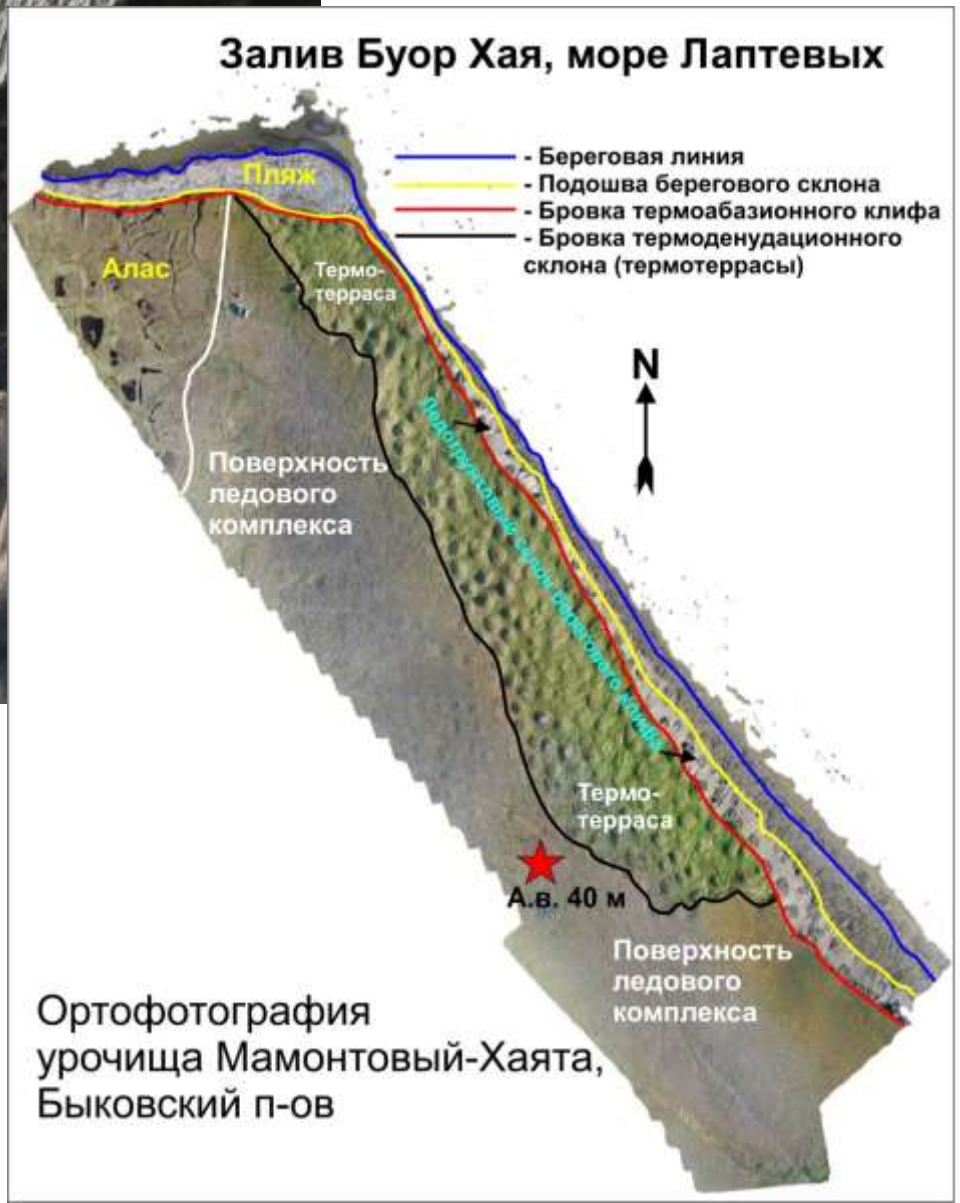
Арктические моря	Поток наносов из берегов (10^6 т/год)	Твердый сток рек (10^6 т/год)	Поток органического углерода из берегов (10^6 т/год)	Вынос органического углерода реками (10^6 т/год)
Белое море	60[1] (в суммарном потоке наносов не учитываются)	17,9[5] (для двух морей)	0,3[7]	6,35[6] (для двух морей)
Баренцево море	59[1]		0,59[3]	
Карское море	27,7[2]	30,9[5]	0,4[2]	10,6[6]
Море Лаптевых	62,2[8]	28,6[5]	1,63[8]	6,8[6]
Восточно-Сибирское море	90,2[8]	25,15[5]	2,39[8]	1,86[6]
Чукотское море (российский сектор)	14,0[8]	0,7[6]	0,2[8]	0,13[6]
Чукотское море (сектор США)	14,0[8]	125,1[6] (для двух морей)	0,2[8]	4,3[6] (для двух морей)
Море Бофорта	7,9[4]		0,09[4]	
Всего	276	227,65	5,8	30,04



Темпы разрушения берегов острова Муостах и Быковского полуострова (м/год) на многолетних мониторинговых участках (губа Буор-Хая, море Лаптевых)



Быковский п-ов

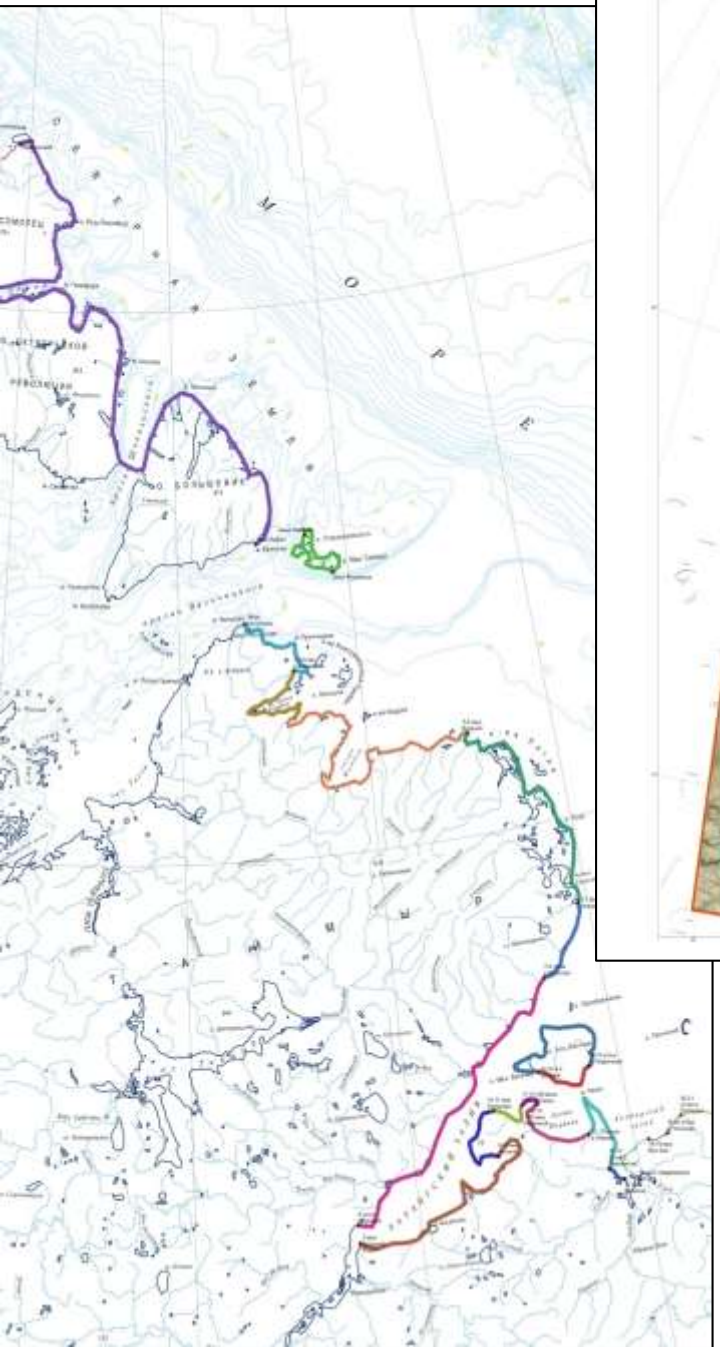


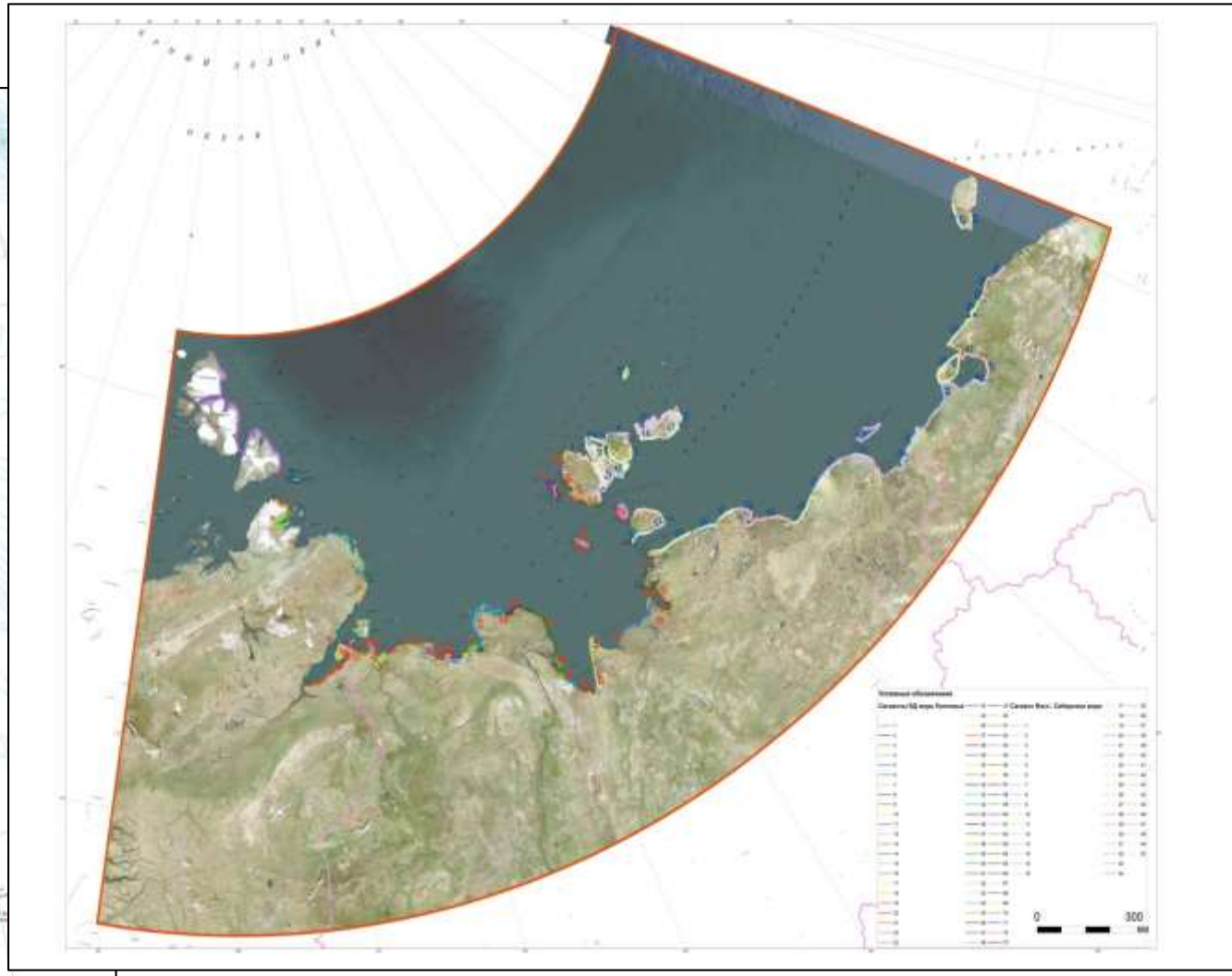
Положение бровки берегового уступа (2019-2022)

Затонувшая в 1980-м году баржа, на десятки лет изменила динамику эрозии берега в урочище Мамонтовый-Хаята на Быковском п-ове

Динамика береговой линии острова, сложенного высокольдистыми многолетнемерзлыми породами

Темпы сокращения площади северной части о-ва Муостах в 2010, 2011, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021 и 2022 гг. на космическом снимке высокого разрешения (желтые надписи – скорость термоабразии берега, метры в год, черная линия – современное положение бровки термоабразионного клифа).





Изображение одного из слоев базы данных в ГИС-Проекте

В связи с потеплением арктического климата отмечается повышение темпов разрушения арктических берегов и увеличение объемов наносов и органического углерода, поступающих из берегов в море

В настоящее время:

- площадь теряемой суши побережий морей Восточной Сибири: в среднем 10-11 км^2 в год
- вынос в Арктический бассейн 152 млн. тонн наносов, поступающих из берегов морей Лаптевых и Восточно–Сибирского, включая 4 млн. тонн органического углерода, высвобождаемого из мерзлоты – дополнительного источника парниковых газов, поступающих в атмосферу

Поток береговых наносов от эродируемого уступа

Термоабразионный берег (плейстоценовый ледовый комплекс), мыс Мамонтов Клык, море Лаптевых

Заключение.

На основе береговой базы данных сделаны следующие выводы:

- **В силу высокой льдистости многолетнемерзлых пород береговой зоны морей Восточной Сибири, где доля ледового комплекса от длины побережья составляет более трети, процессы криоморфогенеза играют ведущую роль в разрушении их берегов, формируя наиболее динамичные в Арктике геоморфологические и ландшафтные зоны. Скорость разрушения берегов, содержащих ледовый комплекс, в 5-7 раз выше, чем участков с малольдистыми толщами. При этом, средний темп теряемой площади суши этих морей составляет 10,7 км^2 в год.**

- **Разрушаемые берега морей Восточной Сибири продуцируют наибольшее количество берегового обломочного материала (152 млн. тонн/год) и органического углерода (4 млн. тонн/год), поступающих в арктический бассейн (по обломочному материалу 55%, по органическому углероду 69% от берегового выноса всех арктических морей). Масса обломочного материала, поступающего из берегов морей Лаптевых и Восточно-Сибирского, почти в три раза превосходит региональный твердый сток рек.**

- **Ледовый комплекс побережий морей Восточной Сибири является важнейшим источником берегового потока наносов, как в эти моря, так и в арктический бассейн в целом. Его доля в потоке наносов из берегов всех арктических морей составляет 42%, а по органическому выносу – 66%.**

СПАСИБО

При проведении этих исследований были использованы средства по грантам РФФИ № 18-45-140057 и № 18-05-70091.