

doi: 10.24412/2687-1092-2023-10-123-129



ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДОВО-ЭКЗАРАЦИОННОГО РЕЛЬЕФА КАРСКОГО МОРЯ В 56 РЕЙСЕ НИС «АКАДЕМИК НИКОЛАЙ СТРАХОВ»

✉ Кокин О.В.¹, Мещеряков Н.И.^{1,2}, Ананьев Р.А.³, Денисова А.П.¹, Сорохтин Н.О.³

¹Геологический институт РАН, Москва, Россия

²Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

³Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

✉ osip_kokin@mail.ru

Представлены предварительные результаты изучения рельефа и отложений ледово-экзарационного форм Карского моря, проведенного в ходе 56-го рейса НИС «Академик Николай Страхов». Работы по комплексной геофизической съемке рельефа дна Карского моря проводились на 19 полигонах, на части из которых были зафиксированы борозды выпахивания глубиной до 10,0 м и шириной до 260 м. Максимальная длина борозд составила 45 км. Колонки донных отложений отобраны как непосредственно со дна борозд, так и с ненарушенной фоновой поверхности для сравнительного датирования ледово-экзарационного рельефа с помощью содержания в донных осадках неравновесного ²¹⁰Pb и антропогенного ¹³⁷Cs.

Ключевые слова: борозды выпахивания, съемка рельефа дна, многолучевой эхолот, колонки донных отложений, Байдарацкая губа

С 27 сентября по 27 ноября 2023 г. проходил 56-й рейс НИС «Академик Николай Страхов». Маршрут рейса начинался и заканчивался в порту Мурманска и пролегал по акватории Баренцева и Карского морей вокруг архипелага Новой Земли по направлению против часовой стрелки (рис. 1). В ходе рейса проводились комплексные геолого-геофизические, геоморфологические и гидрофизические исследования.

Одной из задач рейса было детальное изучение рельефа и отложений ледово-экзарационного рельефа. В Карском море за время рейса была проведена съемка рельефа дна многолучевым эхолотом (МЛЭ) и профилографом SES на 22 полигонах с крупными бороздами выпахивания. В результате по некоторым из них были построены цифровые модели рельефа (ЦМР) дна и сейсмоакустические профили. Часть данных еще не была обработана.

Настоящие работы являются продолжением работ, начатых в 2021 г. в 52-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов» [Кокин и др., 2021; Nikiforov et al., 2022] и продолженных в 2022 г. в 51-м рейсе НИС «Академик Борис Петров» [Кокин и др., 2022; Nikiforov et al., 2023]. Первые результаты по датированию борозд выпахивания с использованием неравновесного ²¹⁰Pb по материалам предыдущих рейсов показали, что средняя скорость осадконакопления внутри борозд выпахивания за последние 100–120 лет составляет 0,38 см/год у входа в Байдарацкую губу [Kokin et al., 2023a] и 0,37 см/год на восточном борту Восточно-Новоземельского желоба. На основании этих результатов и экстраполяции скорости осадконакопления на более ранние горизонты с учетом климатических аналогий время формирования крупной борозды глубиной до 3,2 м и шириной до 35 м, располагающаяся перед входом в Байдарацкую губу на глубине 30–35 м и заполненной осадками мощностью 70–80 см, оценивается началом XIX в., т.е. соответствует Малому ледниковому периоду [Kokin et al., 2023a].

В этом году пространственный охват исследований был расширен до широт о. Визе на севере и до входа в пролив Вилькицкого на востоке Карского моря (табл. 1, рис. 1). Помимо районов, исследованных в 2021–2022 гг., борозды выпахивания были выявлены к югу от о. Визе (на глубине ок. 120 м) и на таймырском шельфе (на глубине до 45 м). Предварительный анализ ЦМР части полигонов (табл. 1) показал, что самые крупные борозды, исследованные в 56-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов», имеют

максимальную глубину вреза относительно фоновой поверхности до 10,0 м, ширину – до 260 м и отснятую прослеженную длину – 45 км. Чаще всего максимальная ширина борозд не превышает глубины моря, на которой они находятся.

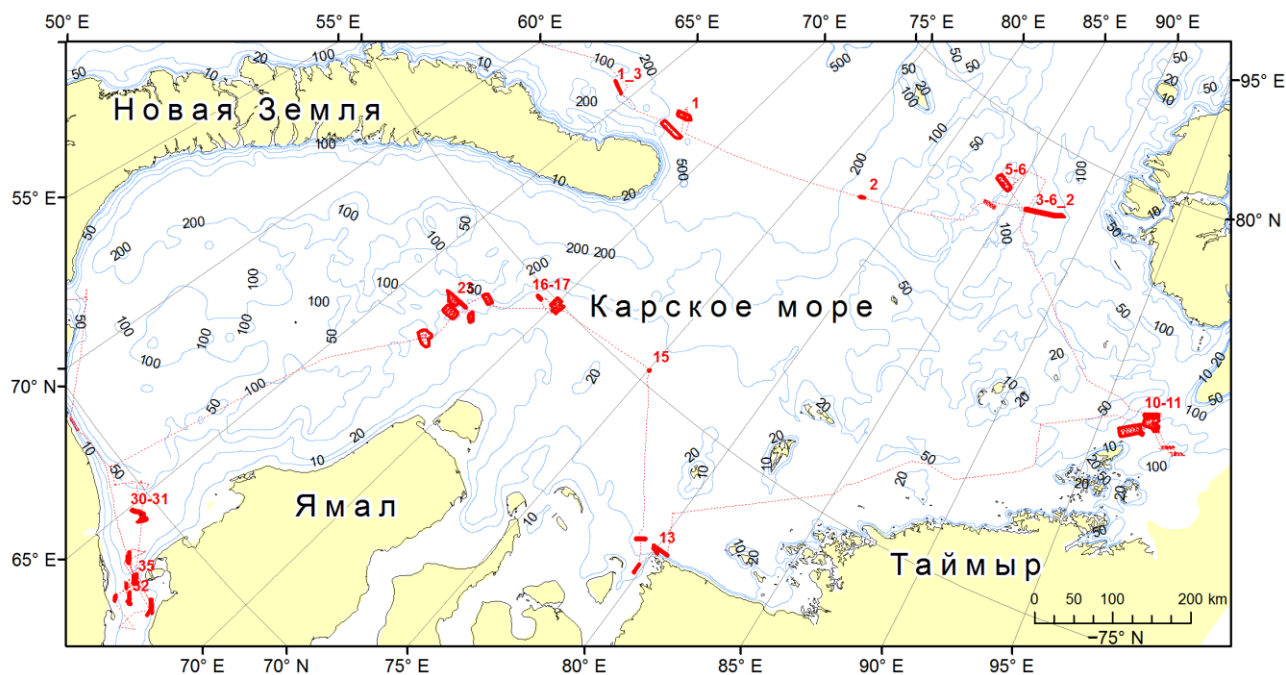


Рис. 1. Полигоны исследования ледово-экскариационного рельефа и маршрут рейса

В ходе рейса этого года был установлен новый район распространения наиболее крупных борозд (глубиной 10 м). Помимо желоба Святой Анны, где они были зафиксированы в прошлом году, самые крупные борозды обнаружены на западном борту Центральной Карской возвышенности (полигон №2 – к югу от о. Визе). Однако в отличие от желоба Святой Анны глубина здесь существенно меньше – не 320-345 м, а около 120 м. На данный момент, возможно, этот район является самым северным в Карском море, где известны борозды ледового выпаживания по опубликованным данным (Kokin et al., 2023b). Стоит отметить, что плотность борозд на полигоне №2 настолько высокая, что фоновая поверхность дна здесь практически полностью отсутствует, т.к. уничтожена ледово-экскариационными процессами, а облик борозд слабовыраженный (рис. 2А).

Полигоны исследований на Североямальском шельфе (рис. 1, табл. 1) были приурочены к тектоническим каньонам и впадинам глубиной до 200 м относительно основной поверхности. Борозды здесь распространены только на глубинах до 45 м как, например, на полигоне №16-17 (рис. 2Б). Плотность борозд здесь ниже – между системой пересекающихся борозд наблюдаются обширные пространства фоновой поверхности дна, не нарушенной ледово-экскариационными процессами, а облик борозд четкий, с хорошо выраженными боковыми валиками. Глубже 45 м борозды отсутствуют, вероятно, из-за сильнопересеченного рельефа дна и замкнутости каньонов и впадин, что препятствует проникновению айсбергов к этим полигонам. В позднеледниковое время, при низком относительном уровне моря, изученные тектонические депрессии могли быть обособленными водоемами (озерами), не связанными с Восточно-Новоземельским желобом, куда спускались ледники, продуцирующие айсберги.

В Байдарацкой губе удалось проследить простираение ранее изученных крупных борозд. Так, на полигоне №30-31 перед входом в губу максимальную прослеженную длину борозд удалось увеличить с 11 до 45 км, которые состоят из 2-х участков (8 и 32 км), которые были прослежены непосредственно съемкой и 1 участка между ними, где борозда была экстраполирована на протяжении около 5 км. Длина борозд других полигонов Байдарацкой губы была увеличена до 5-31 км.

Табл. 1. Характеристика особенностей исследованных полигонов и строения борозд выпаживания

№ п/п	№ полигона в 2023 г. (№ в 2022 г.)	№ дополнительного полигона в 2021-2022 гг.	Диапазон глубины моря, м	Максимальная глубина борозд, м	Максимальная ширина борозд, м	Видимая максимальная длина борозд, км
Желоб Святой Анны, прибортовая часть у С оконечности Новой Земли						
1	1	ок. 15 (2022)	до 450-460	Еще не обработано		
2	1_3	ок. 16 (2022)	95-110			
3	1_2	14 (2022)	225-235; 320-345	5,5; 10,0	80; 260	3,7; 1,4
Центральная Карская возвышенность, 3 борт (к Ю от о. Визе)						
4	2	-	110-130	10,0	100	3,6
Желоб Воронина, верховья						
5	3-4	-	170-190	Еще не обработано		
6	3-6_2		150-230			
7	5-6		190-220			
Пролив Вилькицкого, к 3 от входа						
8	7	-	80-125	Еще не обработано		
9	8-9		90-110			
10	10-11		125-140			
Енисейский залив, перед входом (у Диксона)						
11	13	-	35-40	Еще не обработано		
12	14		30-35			
Североямальский шельф						
13	16-17	11 (2022)	37-39	3,5	40	4,1
14	18-22	ок. 10 (2022)	30-43	1,8	20	3,8
Байдарацкая губа						
15	30-31	16-17_P2 (2021)	28-40	2,5	35	8+(5?)+32=45
16	32	5 (2021-2022)	23-24	1,8	90	19
17	33	18-19_P4 (2021)	19-20	1,8	20	31
18	35	18-19_2 (2021)	28-30	1,0	30	5
19	35_2	-	25-26	2,6	55	19

В ходе транзитной геофизической съемки между полигонов впервые были выявлены борозды выпаживания на таймырском шельфе. Ранее предполагалось, что широкий припай, которые здесь формируется, защищает данную акваторию от проникновения айсбергов и тросов. Однако, вероятно, ледяные образования дрейфуют сюда вслед за разрушающимся припаем.

Для определения скорости осадконакопления в течение последних 100–120 лет и/или оценки возраста борозд выпаживания методом неравновесного ^{210}Pb был выполнен отбор колонок грунта с помощью ударной гравитационной трубки УГТ-147 и грунтовой трубки ГОИН-1,5 (табл. 2). Отбор колонок осуществлялся как непосредственно из борозды, так и, при возможности, с прилегающей, ненарушенной ледовой экзарацией, фоновой поверхности дна для контроля полученных результатов. В некоторых случаях отбор осуществлялся только с фоновых поверхностей. Все пробы в замороженном виде были транспортированы в лабораторию ММБИ РАН для анализа содержания неравновесного ^{210}Pb и антропогенного ^{137}Cs .

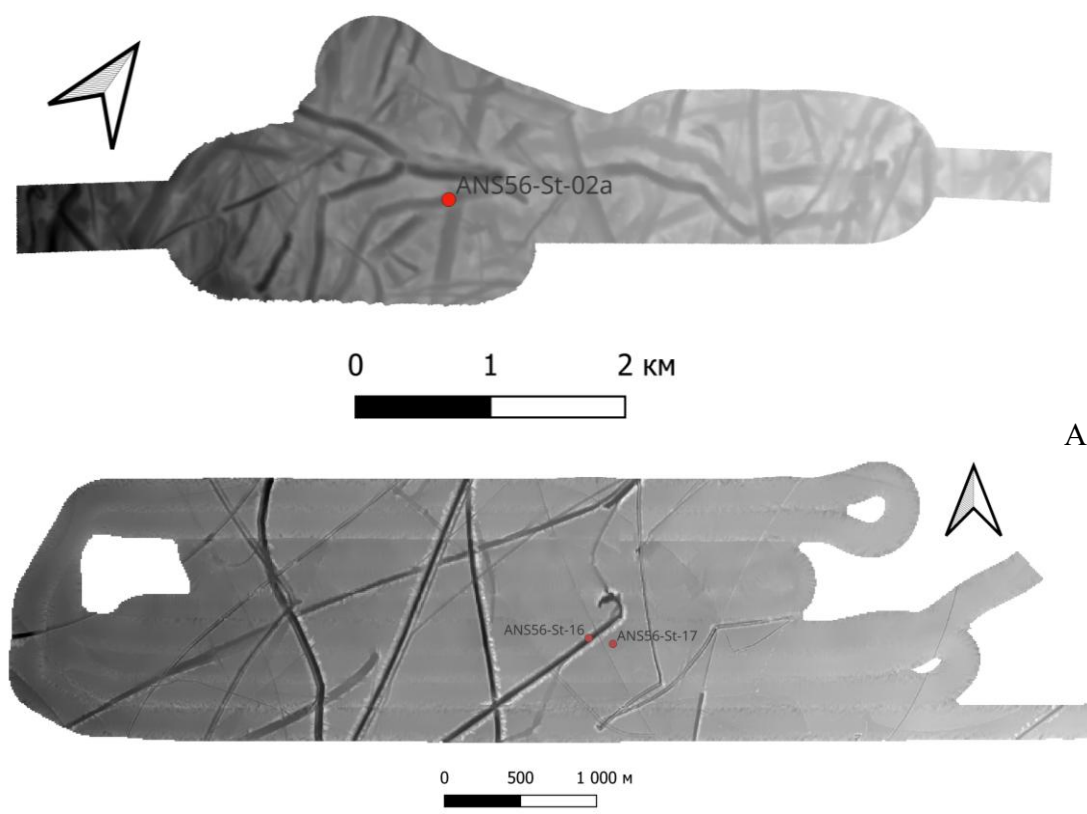


Рис. 2. ЦМР полигонов №2 (западный борт Центральной Карской возвышенности; А) и №16-17 (Североямальский шельф; Б) и местоположение отобранных колонок.

На полигоне №16-17 (североямальский шельф) отобранные колонки имели длину не более 15 см из-за очень плотных суглинков в данном районе. Обращает на себя внимание факт, что при отборе проб в борозде трубкой ГОИН-1,5 длина колонок почти всегда больше, чем длина колонок, отобранных рядом, на фоновой поверхности. Вероятно, это может быть косвенным признаком относительного возраста и скорости осадконакопления вскрытой толщи. На полигоне №10-11 (перед входом в пролив Вилькицкого) в точке отбора колонки в 1995 г. в рейсе немецкого судна «Поларштерн» была отобрана колонка грунта с целью оценки скорости осадконакопления в течение последних 100-120 лет для сравнения со средней скоростью осадконакопления в голоцене, опубликованной по данным радиоуглеродного датирования (Gromig et al., 2022).

Таким образом, самые крупные борозды, исследованные в 51-м рейсе НИС «Академик Николай Страхов», имеют максимальную глубину вреза относительно фоновой поверхности до 10,0 м, ширина – до 260 м и отснятую прослеженную длину – 45 км.

Авторы благодарят руководство рейса и команду судна «Академик Николай Страхов» за помощь в организации и проведении морских работ.

Исследования ледово-экскариационного рельефа дна выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-77-20038, ГИН РАН, <https://rscf.ru/project/21-77-20038/>).

Табл. 2. Ведомость отобранных колонок грунта на полигонах исследования 2023 г.

№ п/п	Дата	Полигон	Глуби моря, м	Станция	Место отбора	Инструмент отбора	Длина колонки, м
Желоб Святой Анны, прибортовая часть у С оконечности Новой Земли							
1	05.10.2023	1	453	5601	фоновая поверхность	УГТ-147	1,0
Центральная Карская возвышенность, 3 борт (к Ю от о. Визе)							
2	06.10.2023	2	126	5602-b	борозда	ГОИН-1,5	0,78
3		2	118	5602-f	фоновая поверхность		0,3
Желоб Воронина, верховья							
4	07.10.2023	3-4	185	5603	котловина	ГОИН-1,5	1,05
5		3-4	176	5604	фоновая поверхность	УГТ-147	0,92
6	08.10.2023	5-6	216	5605	покмарка	ГОИН-1,5	1,05
7		5-6	195	5606	фоновая поверхность	УГТ-147	0,45
Пролив Вилькицкого, к 3 от входа							
8	12.10.2023	7	124	5607	фоновая поверхность	ГОИН-1,5; УГТ-147	0,92; 2,25
9		8-9	103	5608		ГОИН-1,5	0,9
10		10-11	129	5610		1,13	
11		10-11	136	5611		УГТ-147	2,85
Енисейский залив, перед входом (у Диксона)							
12	18.10.2023	13	38	5613	фоновая поверхность	ГОИН-1,5	0,8
13		14	32	5614		УГТ-147	4,0
Североямальский шельф							
14	20.10.2023	16-17	39	5616-b	борозда	ГОИН-1,5	0,15
15		16-17	37	5617-f	фоновая поверхность		0,07
16	21.10.2023	18-22	58	5618	котловина	ГОИН-1,5; УГТ-147	1,2; 4,5
17		18-22	55	5618	фоновая поверхность	ГОИН-1,5	0,9
18	22.10.2023	18-22	43	5622	УГТ-147	0,75	
Байдарацкая губа							
19	29.10.2023	30-31	40	5630-b	борозда	ГОИН-1,5	0,36
20			38	5630-f	фоновая поверхность		0,6
21			38	5631-b	борозда		0,36
22			36	5631-f	фоновая поверхность		0,31
23	01.11.2023	32	25	5632-b1	борозда 1	ГОИН-1,5	0,8
24			25	5632-b2	борозда 2		0,6
25			23	5632-f	фоновая поверхность		?
26		33	26	5633-b	борозда		0,57
27	24		5633-f	фоновая поверхность	0,2		

ЛИТЕРАТУРА

Kokin O.V., Arkhipov V.V., Maznev S.V., Meshcheryakov N.I. Исследование ледово-эскарационного рельефа юго-западной части Карского моря в 52 рейсе НИС «Академик Николай Страхов» // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. 2021. Выпуск 8. С. 97-100. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-97-100

Gromig R., Grunert P., Scheidt S., Melles M. Postglacial shelf erosion, riverine input and lake drainage in the eastern Kara Sea, Russia // *Marine Geology*. 2022. Vol. 451, 106865 doi: 10.1016/j.margeo.2022.106865.

Kokin O., Maznev S., Arkhipov V. et al. The distribution of maximum ice scour sizes by sea depth at the seabed of the Barents and Kara Seas // *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC, Glasgow, UK, 12–16 June 2023a*. P. 1–11.

Kokin O., Usyagina I., Meshcheriakov N., Ananiev R., Arkhipov V., Kirillova A., Maznev S., Nikiforov S., Sorokhtin N. Pb-210 Dating of Ice Scour in the Kara Sea // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023b. Vol. 11. Is. 7, 1404. doi: 10.3390/jmse11071404

Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A., Dmitrevskiy N.N., Moroz E.A., Kokin O.V. Research in Barents and Kara Seas during cruise 52 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov // *Oceanology*. 2022. Vol. 62. Is. 3. P. 433-434. doi: 10.1134/S0001437022030079

Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A., Dmitrevskiy N.N., Moroz E.A., Kokin O.V. Geological-geophysical, geomorphological and hydrophysical investigations in the Barents and Kara Seas in the cruise 51 of the R/V Akademik Boris Petrov in 2022 // *Oceanology*. 2023. Vol. 63. Is. 5. P. 749-751. doi: 10.1134/S0001437023050089

THE ICE-GOUGING LANDFORMS INVESTIGATION OF THE KARA SEA IN THE 56TH CRUISE OF THE R/V "ACADEMIK NIKOLAY STRAKHOV"

Kokin O.V.¹, Meshcheryakov N.I.^{1,2}, Ananiev R.A.³, Denisova A.P.¹, Sorokhtin N.O.³

¹Geological Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

²Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

³Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The preliminary results of the relief and sediments of the ice-gouging landforms study of the Kara Sea, carried out during the 56th cruise of the R/V "Akademik Nikolai Strakhov", are presented. The survey of the ice-gouging landforms was carried out at 22 sites, on which ice gouges with depth of up to 10,0 m and up to 260 m wide were recorded. The maximum length of the ice gouges was 45 km. The cores of bottom sediments are taken both directly from the bottom of the ice gouges and from an undisturbed background surface for comparative dating of the ice-gouging relief using the content of the non-equilibrium ²¹⁰Pb and anthropogenic ¹³⁷Cs. The ice-gouging landforms investigation was supported by the Russian Scientific Fund (project 21-77-20038).

Keywords: *ice gouges, bottom topography survey, multibeam echo sounder, bottom sediment cores, Baydaratskaya Bay*

REFERENCES

Kokin O.V., Arkhipov V.V., Maznev S.V., Meshcheriakov N.I. The ice-gouging landforms investigation of the south-western part of the Kara sea in the 52nd cruise of the R/V "Akademik Nikolay Strakhov". Relief and Quaternary deposits of the Arctic, Subarctic and North-West Russia. 2021. Issue 8. P. 97-100. doi: 10.24412/2687-1092-2021-8-97-100

Gromig R., Grunert P., Scheidt S., Melles M. Postglacial shelf erosion, riverine input and lake drainage in the eastern Kara Sea, Russia // *Marine Geology*. 2022. Vol. 451, 106865 doi: 10.1016/j.margeo.2022.106865.

Kokin O., Maznev S., Arkhipov V. et al. The distribution of maximum ice scour sizes by sea depth at the seabed of the Barents and Kara Seas // *Proceedings of the International Conference on Port and Ocean Engineering under Arctic Conditions, POAC, Glasgow, UK, 12–16 June 2023a*. P. 1–11.

Kokin O., Usyagina I., Meshcheriakov N., Ananiev R., Arkhipov V., Kirillova A., Maznev S., Nikiforov S., Sorokhtin N. Pb-210 Dating of Ice Scour in the Kara Sea // *Journal of Marine Science and Engineering*. 2023b. Vol. 11. Is. 7, 1404. doi: 10.3390/jmse11071404

Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A., Dmitrevskiy N.N., Moroz E.A., Kokin O.V. Research in Barents and Kara Seas during cruise 52 of the R/V Akademik Nikolaj Strakhov // *Oceanology*. 2022. Vol. 62. Is. 3. P. 433-434. doi: 10.1134/S0001437022030079

Nikiforov S.L., Sorokhtin N.O., Ananiev R.A., Dmitrevskiy N.N., Moroz E.A., Kokin O.V. Geological-geophysical, geomorphological and hydrophysical investigations in the Barents and Kara Seas in the cruise 51 of the R/V Akademik Boris Petrov in 2022 // *Oceanology*. 2023. Vol. 63. Is. 5. P. 749-751. doi: 10.1134/S0001437023050089