

MARINE GEOLOGICAL AND PALEOCEANOGRAPHIC INVESTIGATIONS IN THE EAST SIBERIAN SEA DURING LEG 4 OF THE TRANSARKTIKA-2019 EXPEDITION

¹Kassens H., ^{2,3}Taldenkova E.E., ⁴Shmanyak A.V., ⁵Krylov A.A., ⁵Gusev E.A.,
³Makhotin M.S. and the shipboard scientific party

¹GEOMAR Helmholtz Centre for Ocean Research Kiel, Kiel, Germany

²Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

³Arctic and Antarctic Research Institute (AARI), St.Petersburg, Russia

⁴Karpinskii All-Russia Geological Research Institute (VSEGEI), St.Petersburg, Russia

⁵Gramberg VNIIOkeangeologiya Research Institute, St.Petersburg, Russia

The paper deals with an overview of marine geological investigations in the central East Siberian Sea carried out in the frame of Leg 4 of the Transarktika-2019 expedition aboard R/V Professor Multanovskiy. Because of its remoteness and severe sea-ice conditions, the East Siberian shelf largely remains a “white spot” in terms of its paleoceanographic evolution during the postglacial epoch and the Holocene. In early autumn 2019 the East Siberian Sea remained ice-free. These unique conditions allowed to obtain box and gravity cores from different parts of the East Siberian shelf and upper continental slope for future high-resolution paleoceanographic investigations. An overview of research activities and the first results are presented.

Keywords: *marine geology, paleoceanography, East Siberian Sea.*

Introduction. Any assessment of the environmental transformation under the ongoing global warming requires knowledge of the natural climate variability in the recent geological past beyond the era of instrumental observations. This poses severe challenges, in particular in the Arctic where the geological history of huge areas is only poorly explored. Over the past tens of thousands of years, the Siberian shelf seas underwent large-scale transformations, from flooding in the interglacial epochs to exposure and permafrost formation during glacial times. Recently, new evidence of the existence of late Pleistocene ice sheets in the northeastern East Siberian Sea (ESS) has been reported, while the size, age and reasons for the formation of these ice caps remain unclear and require further detailed studies [Stein *et al.*, 2010; Niessen *et al.*, 2013; Schreck *et al.*, 2018]. No less important is the reconstruction of past water-mass variability which depends on sea-level fluctuations, interaction of Atlantic and Pacific waters, river water inflows, and the sea-ice regime.

Because of its remoteness and severe sea-ice conditions the ESS remains the least studied of all Siberian shelf seas in terms of its paleoceanographic evolution. Geological investigations were carried out between 160 and 200 m water depth in the central ESS [Gusev *et al.*, 2012, 2013] and between 600 and 2000 m water depth at the northeastern continental slope [Stein *et al.*, 2010; Niessen *et al.*, 2013; Schreck *et al.*, 2018, Cronin *et al.*, 2017].

Geological investigations during the 2nd part of Leg 4 of the Transarktika-2019 expedition aboard R/V Professor Multanovskiy (Murmansk – Vladivostok) were carried out at 19 stations (Fig. 1, Table). For the first time, long gravity cores for paleoceanographic investigations were obtained between 15 and 300 m water depth along the coast and in the central ESS. The major goal of geological research is the reconstruction of the past glacial-interglacial environmental variability in the ESS based on high-resolution multiproxy (lithology, micropaleontology, geochemistry, stable isotope composition, absolute age determination) studies of sediment cores.

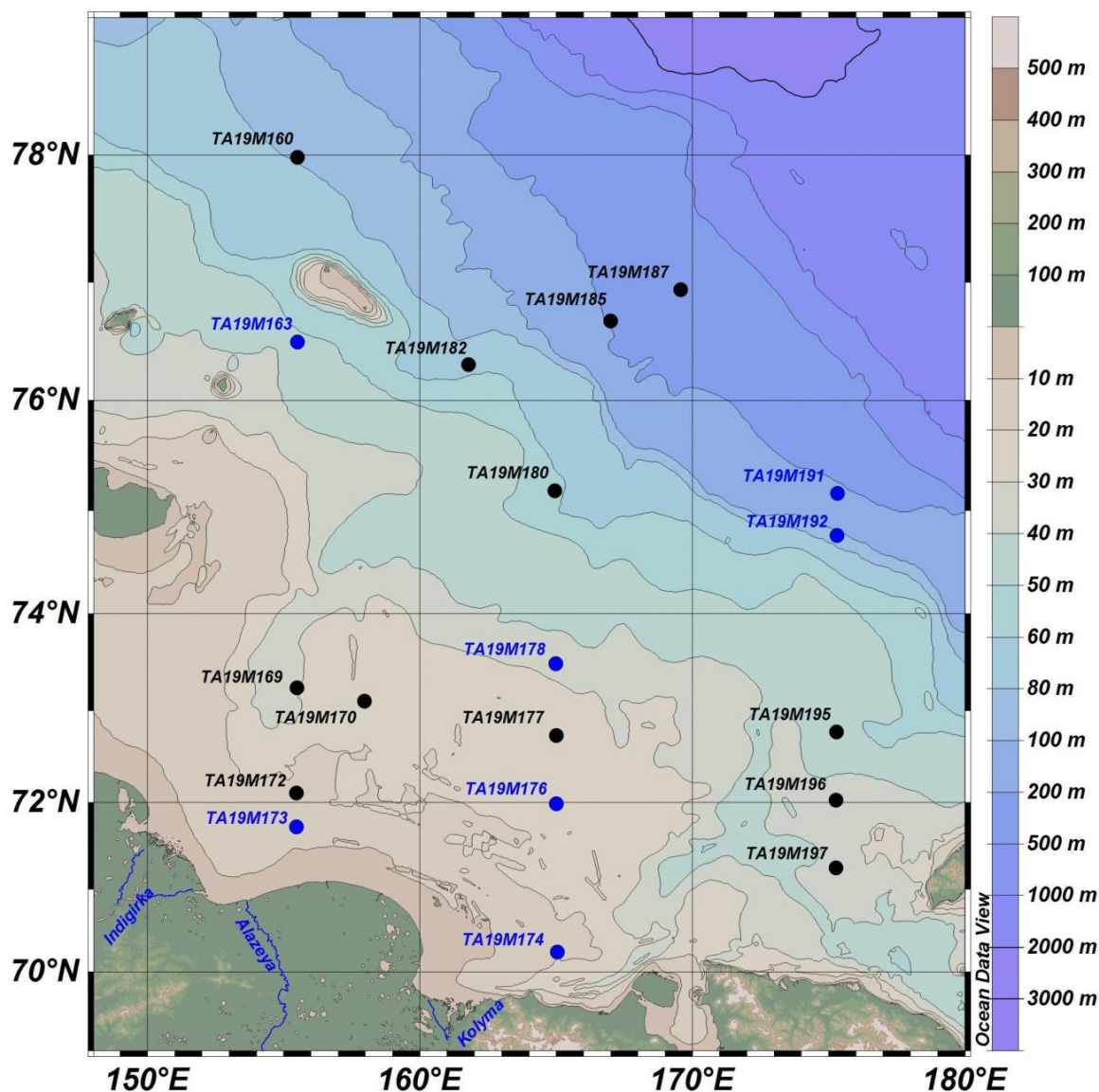


Fig. 1. Location map of geological stations in the East Siberian Sea (see also Table 1). Black dots and labels correspond to the stations where long cores (GKG, SL or KL) were recovered and surface samples were taken; blue dots and labeling correspond to the stations where only surface samples were taken by means of Van Veen grab sampler.

Рис. 1. Карта Восточно-Сибирского моря с положением станций геологического пробоотбора (см. также Табл. 1).

Черные кружки соответствуют станциям, на которых проводился пробоотбор с помощью дночерпателя и ударных трубок (GKG, SL или KL) наряду с отбором проб поверхностных осадков; голубые кружки соответствуют станциям, на которых проводился отбор только проб поверхностных осадков с помощью дночерпателя Ван Вина.

Methods and first results. In order to gain a wide-ranged view of the depositional environment of the ESS geological sampling was carried out by a number of different kinds of coring gear: box corer (GKG; 50×50×50 cm), gravity corer (SL; 3 - 5 m long steel barrel with liner, diameter 12 cm, head weight up to 1 t) and square-barrel gravity corer (KL, 15×15×300 cm without liner, up to 1 t head weight) (Fig. 2). With a maximum winch load of 1.5 t core recovery was limited.

Site survey of the horizontal and vertical distribution of the sediment cover was conducted by means of continuous sub-bottom profiling (KODEN echo sounder, digital - Broadband type CVS-FX1, 38 to 75 kHz).



Fig. 2. The box corer (50x50x60 cm, Oktopus 2500, Oktopus GmbH, Kiel, Germany) allows for an undisturbed sampling of near-surface sediments of 0.25 m² and a downcore penetration of max. 50 cm (upper panel). Long sediment cores (lower panel) were obtained by a the gravity corer (3 - 5 m long steel barrel with liner, diameter 12 cm, head weight up to 1 t, GC 125, Oktopus GmbH, Kiel, Germany) and a square-barrel gravity corer (15x15 cm, 3 m, HYDROWERKSTAETTEN, Kiel, Germany).

Рис. 2. Большой коробчатый дночерпатель (50x50x60 см, Oktopus box corer 2500, Oktopus GmbH, Kiel, Germany) позволяет отбирать ненарушенные осадки с площади 0.25 м² и на глубину до 50 см (верхняя панель). Длинные колонки осадков (нижняя панель) были получены с помощью круглой ударной трубки (диаметр 12 см, макс. длина 5 м, GC 125, Oktopus GmbH, Kiel, Germany) и с помощью коробчатого ударного пробоотборника (15x15 см, макс. длина до 5 м, HYDROWERKSTAETTEN, Kiel, Germany).

Onboard surface samples (uppermost 1 cm) were obtained from box corers and in case the surface was properly preserved from Van Veen grab samplers. Surface samples for microfossil study were collected with the use of 10x10 cm metal frame and stained with a Rose Bengal ethanol solution in order to further distinguish alive specimens (colored) from dead ones (non-colored). Bulk surface samples were stored in plastic bags and frozen. In total, surface sediments were sampled at 19 stations (see Fig. 1).

Table 1. Geological and surface sediment sampling in the East Siberian Sea during Leg 4 of Transarktika-2019 expedition.

Sampling operation: GKG – giant boxcorer; SL – round gravity corer; KL – square-barrel gravity corer 15x15 cm, G – Van Veen grab sampler.

Таблица 1. Геологическое опробование и отбор проб поверхностных осадков в Восточно-Сибирском море в ходе 4-го этапа экспедиции Трансарктика-2019.

Использованное оборудование: GKG – гигантский коробчатый дночерпатель; SL – круглая ударная трубка; KL – коробчатый ударный пробоотборник 15x15 см, G – дночерпатель Ван Вина.

Station	Sampling operation	Latitude, N	Longitude, E	Water depth, m
TA19M160	GKG	77°59.003'	155°30.261'	73
	SL	77°59.005'	155°30.276'	73
TA19M163	G	76°30.138'	155°30.860'	49
TA19M169	SL(1)	73°14.209'	155°29.287'	34
	SL(2)	73°14.211'	155°29.278'	35
	G	73°14.208'	155°29.279'	35
TA19M170	SL	73°06.051'	157°59.808'	20
	G	73°06.034'	157°59.783'	21
TA19M172	SL	72°06.118'	155°28.618'	16
	G	72°06.118'	155°28.607'	16
TA19M173	G	71°42.988'	155°27.685'	15
TA19M174	G	70°14.133'	165°03.030'	17
TA19M176	G	71°59.780'	165°00.252'	25
TA19M177	GKG	72°44.602'	165°00.369'	28
	SL	72°44.600'	165°00.377'	28
TA19M178	G	73°29.833'	164°59.247'	30
TA19M180	SL	75°10.371'	164°57.967'	60
	G	75°10.367'	164°58.060'	61
TA19M182	SL	76°18.175'	161°47.576'	63
	G	76°18.155'	161°47.566'	63
TA19M185	SL	76°40.484'	167°00.440'	204
	G	76°40.346'	167°00.393'	207
TA19M187	KL	76°56.071'	169°34.842'	293
	G	76°56.253'	169°34.158'	291
TA19M191	G	75°08.984'	175°18.912'	189
TA19M192	G	74°44.660'	175°18.804'	88
TA19M195	GKG	72°45.761'	175°17.850'	44
	SL	72°45.767'	175°17.842'	46
TA19M196	GKG	72°00.581'	175°16.501'	38
	SL	72°00.577'	175°16.493'	38
TA19M197	GKG	71°14.479'	175°15.586'	39
	SL	71°14.478'	175°15.734'	39

Box-core sections from five locations (TA19M-160, TA19M-177, TA19M-195, TA19M-196, TA19M-197; see Fig. 1, Table 1) were photographed and described onboard (Figs. 3-7). The sediment sections were sampled continuously in 2 cm thick slices and frozen. Additionally, 2 liners (diameter 12 cm) were taken vertically from each box core for shore-based analyses. The sealed liners were stored at temperatures of around 5 ° C in thermoboxes in the ship hold.



Fig. 3. Onboard lithological description and photo of sediment surface and GKG core section TA19M160.

Рис. 3. Литологическое описание и фото поверхности осадка и разреза колонки GKG TA19M160, выполненные в рейсе.

To study the temporal and regional changes in the sedimentary environment of the ESS long sediment cores (up to 5 m) were taken at 12 locations (see Fig. 1, Table 1) between 16 and 293 m water depth.

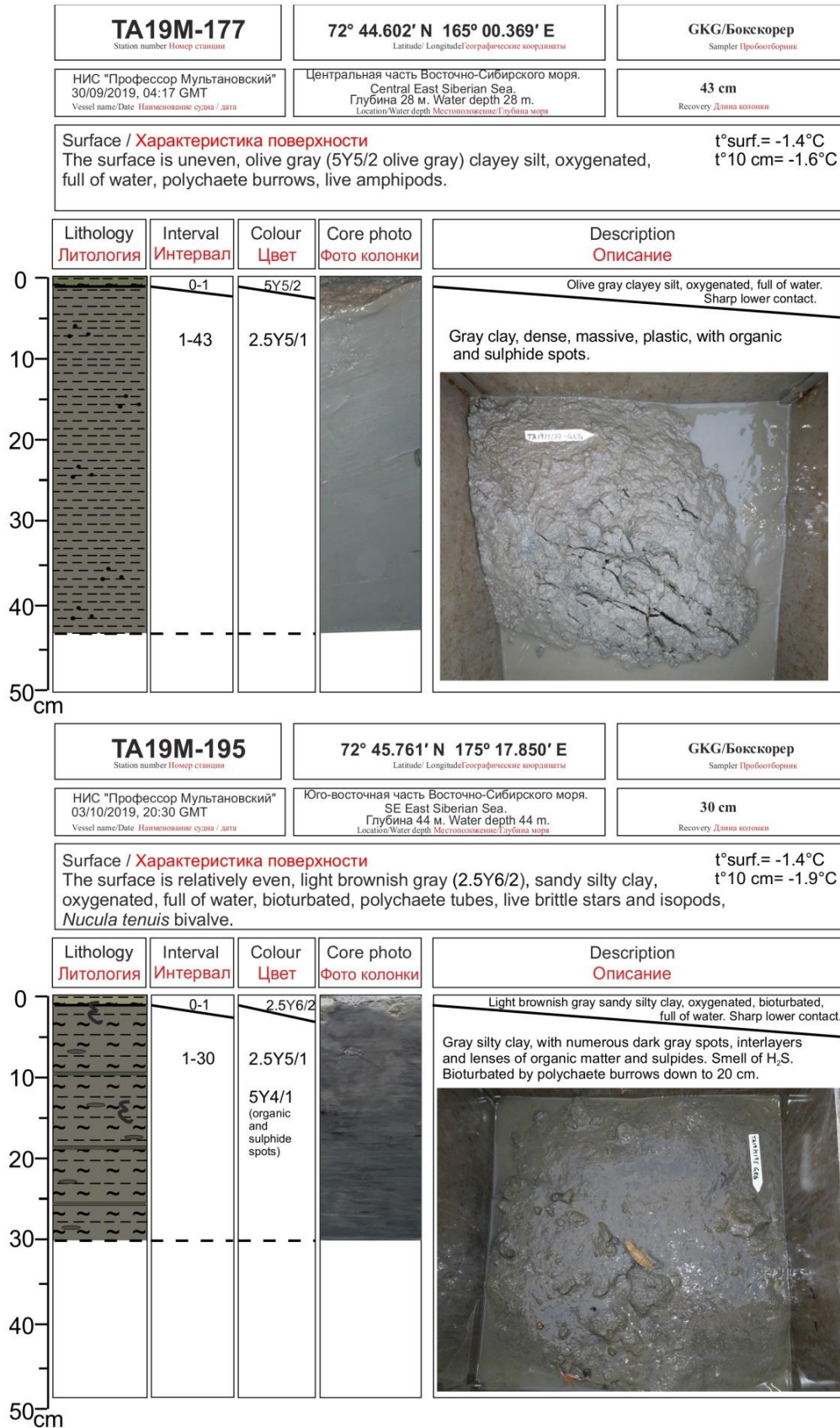


Fig. 4. Onboard lithological description and photo of sediment surface and GKG core sections TA19M177 and TA19M195 (for the Legend see Fig. 3).

Рис. 4. Литологическое описание и фото поверхности осадка и разреза колонок GKG TA19M177 и TA19M195, выполненные в рейсе (условные обозначения на рис. 3).

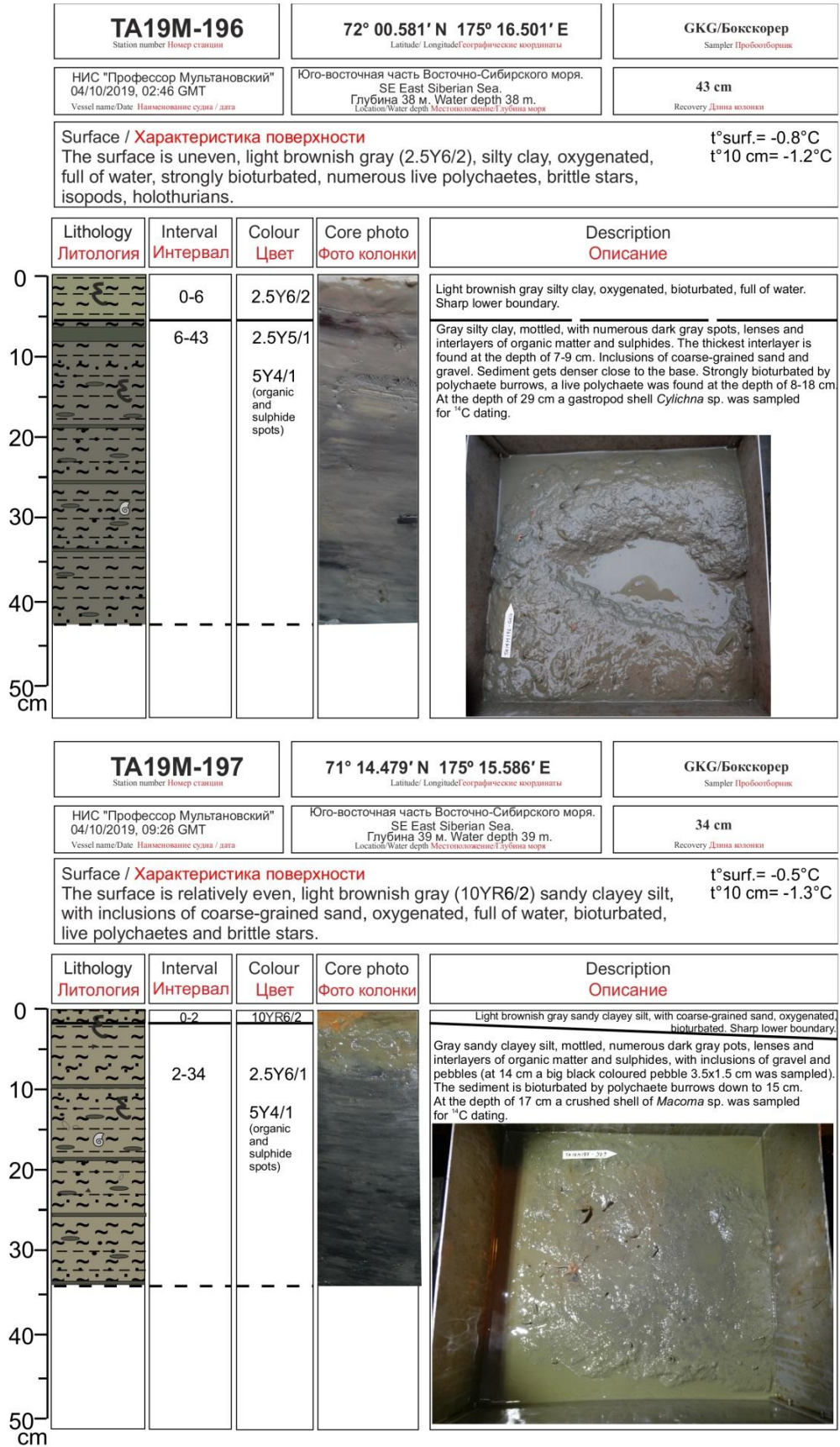


Fig. 5. Onboard lithological description and photo of sediment surface and GKG core sections TA19M196 and TA19M197 (for the Legend see Fig. 3).

Рис. 5. Литологическое описание и фото поверхности осадка и разреза колонок GKG TA19M196 и TA19M197, выполненные в рейсе (условные обозначения на рис. 3).

A wet lab for geological work was not available. For this reason, no measurements could be carried out on the sediment cores and no sub-samples could be taken on board. Only the core catchers were packed in liner and plastic bags and frozen. The sediment cores were stored in sealed liners (up to one meter in length) at temperatures of around 5°C in the ship hold and the cold storage of R/V Professor Multanovskiy. After the expedition sediment cores and samples were transported from Vladivostok to Saint Petersburg (AARI, Otto Schmidt Laboratory for Polar and Marine Sciences) in a closed cold chain (frozen and $\pm 4^\circ\text{C}$) with air freight.

The sedimentary regime of the ESS is characterized by oxygenated, bioturbated (up to 15-20 cm), unconsolidated, fine-grained surface sediments (Figs. 3-5). Light brownish gray sandy clayey silts with coarse-grained sand inclusions are typical for the southeastern ESS (TA19M195, 196, 197) between 38 and 44 m water depths, whereas olive gray clayey silts are typical for the shallow central ESS (TA19M-177). Yellowish brown silty sandy clays with gravel were recovered in the northern ESS (TA19M-160) at 73 m water depth.

Sea-floor temperatures vary between -1.4°C (TA19M-177, 195) and -0.5°C (TA19M-197) at the surface and 10 cm below the surface between -1.2°C (TA19M-19) and -1.9°C (TA19M-195).

Overall, the recovered sediment cores from the ESS provide highly valuable archives of the paleoenvironmental history in this remote area which is of particular importance for sea ice formation in the Arctic Ocean. Since the area is influenced both by Atlantic Water advection along the continental margin and by Pacific Water influx through the Bering Strait, investigations of the recovered sediments may give important insights in the interplay of ocean currents, sea level rise, and river run-off which are needed for a better understanding of past, present and future environmental changes in the Arctic.

Acknowledgments. *The authors would like to thank Roshydromet for financing the expedition Transarktika-2019. We are deeply grateful to the crew of the R/V "Professor Multanovskiy", Florian Evers, Nikolai Polyakov and Yuri Titarenko for performing coring operations. This research was supported by the Russian-German research projects: "CATS: The Changing Arctic Transpolar System" funded by the BMBF (03F0776) and "Arctic Transpolar System in transition to a new climate state" funded by the Russian Ministry for Science and Higher Education (RFMEFI61619X0108).*

REFERENCES

- Cronin T.M., O'Regan M., Pearce C., Gemery L., Toomey M., Semiletov I., Jakobsson M. Deglacial sea-level history of the East Siberian and Chukchi Sea margins // *Climate of the Past*. 2017. Vol. 13. P. 1097-1110. <https://doi.org/10.5194/cp-13-1097-2017>
- Gusev E.A., Zinchenko A.G., Bondarenko S.A., Anikina N.Yu., Derevyanko L.G., Maksimov F.E., Kuznetsov V.Yu., Levchenko S.B., Zherebtsov I.E., Popov V.V. New data on the landforms and Quaternary deposits of the outer East Siberian shelf // *Geologiya i geoekologiya kontinental'nykh okrain Evrazii*. 2012, 4. M.:GEOS: 58-68. [in Russian].
- Gusev E.A., Rekant P.V., Bol'shiyanov D.Yu., Lukashenko R.V., Popko A.O. Pseudoglacial structures of submarine heights of the Mendeleev Ridge (Arctic Ocean) and the East Siberian continental margin // *Problemy Arktiki i Antraktiki*. 2013. Is. 4(98). P. 44-55.
- Niessen F., Hong J.K., Hegewald A., Matthiessen J., Stein R., Kim H., Kim S., Jensen L., Jokat W., Nam S.-I., Kang S.-H. Repeated Pleistocene glaciation of the East Siberian continental margin // *Nature Geoscience*. 2013. Vol. 6. P. 842-846. <https://doi.org/10.1038/ngeo1904>
- Schreck M., Nam S.-I., Polyak L., Vogt C., Kong G.-S., Stein R., Matthiessen J., Niessen F. Improved Pleistocene sediment stratigraphy and paleoenvironmental implications for the western Arctic Ocean off the East Siberian and Chukchi margins // *Arktos*. 2018. Vol. 4:21. doi:10.1007/s41063-018-0057-8.
- Stein R., Matthiessen J., Niessen F., Krylov A., Nam S., Bazhenova E. Towards a better (litho-) stratigraphy and reconstruction of Quaternary paleoenvironment in the Amerasian Basin (Arctic Ocean) // *Polarforschung*. 2010. Vol. 79. P. 97-121.

МОРСКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В РАМКАХ 4-ГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019»

¹Кассенс Х., ^{2,3*}Талденкова Е.Е., ⁴Шманяк А.В., ⁵Крылов А.А., ⁵Гусев Е.А.,
³Махотин М.С. и научный состав экспедиции

¹ГЕОМАР Гельмгольц Центр по изучению Океана в Киле, Киль, Германия
²МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия
³ФГБУ «АНИИ», Санкт-Петербург, Россия
⁴ФГБУ «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, Россия
⁵ФГБУ «ВНИИОкеангеология», Санкт-Петербург, Россия

В статье представлен обзор морских геологических исследований в центральной части Восточно-Сибирского моря, выполненных в рамках 4-го этапа экспедиции «Трансарктика-2019» на борту НИС «Профессор Мультановский». Из-за своей удаленности и суровых ледовых условий Восточно-Сибирское море остается «белым пятном» с точки зрения реконструкции изменений палеоокеанологических условий в период послеледниковья и голоцена. В первой половине осени 2019 года Восточно-Сибирское море было свободно ото льда. Эта исключительная природная ситуация позволила отобрать седиментационные колонки с помощью дночерпателя и ударных трубок в различных частях шельфа и верхней части континентального склона Восточно-Сибирского моря, которые впоследствии будут использованы для детальных палеоокеанологических исследований. В статье представлены обзор экспедиционных геологических работ и некоторые первые результаты.

Ключевые слова: *морская геология, палеоокеанология, Восточно-Сибирское море.*

МОРСКИЕ ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ПАЛЕООКЕАНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ВОСТОЧНО-СИБИРСКОМ МОРЕ В РАМКАХ 4-ГО ЭТАПА ЭКСПЕДИЦИИ «ТРАНСАРКТИКА-2019» (расширенный реферат)

В рамках 2-ой части 4-го этапа экспедиции «Трансарктика-2019», который проходил по маршруту Мурманск-Владивосток, совместной российско-германской группой исследователей при участии членов научного состава экспедиции и команды НИС «Профессор Мультановский» были проведены морские геологические исследования в Восточно-Сибирском море. Из-за своей удаленности и суровых ледовых условий Восточно-Сибирское море – наименее изученное из всех арктических морей Евразии как с точки зрения состава его донных отложений, так и с позиций реконструкции изменений палеоокеанологических условий в период послеледниковья и голоцена. В период экспедиции осенью 2019 года Восточно-Сибирское море было полностью свободно ото льда. Эта исключительная природная ситуация позволила отобрать колонки осадков в различных частях шельфа и верхней части континентального склона. Всего было выполнено 19 станций геологического пробоотбора в диапазоне глубин от 15 до 293 метров.

Колонки отбирались с помощью немецкого оборудования, представленного гигантским коробчатым дночерпателем (боксорером), позволяющим получать ненарушенные осадки мощностью до 50 см, а также ударными трубками, круглой с диаметром 12 см с пластиковым вкладышем внутри, и коробчатой размером 15x15 см. Колонки осадков, полученные круглой ударной трубкой, паковались в лайнеры для последующего изучения в лаборатории. Колонки, полученные боксорером и коробчатой ударной трубкой, сначала исследовались на борту, а потом также упаковывались в лайнеры для последующего исследования. Изучение на борту включало в себя

литологическое описание поверхностного осадка и разрезов колонок, фотографирование и отбор проб. Последние отбирались только из боксера и включали в себя пробы поверхностных осадков (верхний 1 см) и непрерывно отобранные по разрезу образцы осадка мощностью 2 см. Образцы поверхностных образцов на разные виды анализов отбирались также из дночерпателя Ван Вина в том случае, если поверхность осадка была ненарушенной. Отобранные образцы, помимо образцов на исследование современной микрофауны, замораживались. Образцы для изучения микрофауны помещались в емкости со спиртовым раствором красителя бенгальской розовой, что в последующем позволит отделить живые экземпляры (прокрашенные) от мертвых. Поверхностные образцы были отобраны на 19 станциях; боксером были получены 5 разрезов; один разрез был отобран коробчатой ударной трубкой; а круглой ударной трубкой были получены 12 колонок осадков длиной до 5 м. Все осадки были транспортированы в г. Санкт-Петербург (АНИИ) для хранения и последующего изучения в совместной российско-германской лаборатории морских и полярных исследований им. О.Ю. Шмидта.

В целом, полученные керны осадков из Восточно-Сибирского моря предоставляют собой ценный архив данных по изменению палеосреды этого отдаленного региона, играющего существенную роль в процессе образования морского льда в Северном Ледовитом океане. Поскольку исследованный регион находится под воздействием как атлантических вод, распространяющихся вдоль его континентальной окраины, так и тихоокеанских вод, поступающих через Берингов пролив, изучение полученных кернов морских осадков даст важную информацию о взаимодействии океанских течений, подъеме уровня моря и влиянии стока рек, которая необходима для лучшего понимания прошлых, настоящих и будущих изменений окружающей среды Арктике.