

## **<sup>210</sup>Pb ДАТИРОВАНИЕ КЕРНОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ БАСЕЙНА СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА В РАЙОНАХ АКТИВНОГО ДРЕЙФА АЙСБЕРГОВ**

<sup>1,2</sup>Мещеряков Н.И., <sup>1</sup>Усягина И.С., <sup>2,3</sup>Кокин О.В.

<sup>1</sup>ФГБУ «ММБИ» КНЦ РАН, Мурманск, Россия; meshcheriakov104@mail.ru

<sup>2</sup>ФГБУ ГОИН, Москва, Россия; osip\_kokin@mail.ru

<sup>3</sup>МГУ им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

Представлены результаты исследований кернов донных отложений, отобранных в экспедиции «Трансарктика-2019». Проанализированы 3 колонки донных отложений мощностью до 15 см. Определены возрасты осадочных горизонтов по <sup>210</sup>Pb, результаты верифицированы по маркеру антропогенного загрязнения - <sup>137</sup>Cs. Получены данные о темпах современной седиментации в бассейне Северного ледовитого океана.

Ключевые слова: *седиментация, радионуклиды, бассейн Северного Ледовитого океана*

Получение новых данных об особенностях осадконакопления в Северном Ледовитом океане (СЛО) в районах активного дрейфа айсбергов одна из сложнейших задач современной седиментологии. Труднодоступность, суровые климатические условия, наличие круглогодичного и сезонного ледового покрова, а также неоднородность условий седиментации в бассейне ограничивают возможность отбора материала, достаточного для детальных исследований, и требуют больших финансовых вложений.

В настоящий момент данные по седиментации в СЛО носят фрагментарный характер [Новигатский и др.2018], особенности осадконакопления в этом районе Мирового океана освещены слабо. Полученный в настоящей работе материал вносит вклад в исследование осадконакопления в высокоширотных районах Мирового океана.

Из литературы известно [Куликов и др., 1970; Morris et al., 1985; Тарасов и др.,2000; Ivanova et al., 2002; Lisitzin, 2002; Levitan et al., 2012; Winkelmann, Knies, 2005; Sellen et al., 2009; Gusev et al., 2012; Mityaev et al., 2012], что темпы седиментации в бассейне СЛО изменяются в широких пределах - от отрицательных значений до 0.5 см·год<sup>-1</sup>. Среднее значение скорости осадконакопления в бассейне СЛО - 0.01 мм год<sup>-1</sup> [Stein, 2008].

Материал получен в ходе экспедиции «Трансарктика-2019», точки отбора проб представлены на рис.1. Отобрано три колонки (керны) донных отложений. КERN № 1 отобран к северу от о. Белый, архипелаг Шпицберген, вскрытая мощность осадочного слоя составила 15 см (глубина - 120 м). КERN № 2 отобран на западном склоне желоба Франц-Виктории, вскрытая мощность осадочного слоя - 14 см (глубина - 340 м). КERN № 3 отобран на шельфе к северу от Земли Франца-Иосифа, вскрытая мощность осадочного слоя - 10 см (глубина - 182 м).

Пробы кернов были отобраны с помощью коробчатого пробоотборника «Бокс-корер». Колонки донных отложений вырезались пластиковой трубкой из толщи осадка, не нарушая стратиграфии. КERN делился на сегменты (слои) высотой 1 см. Для каждого сегмента выполняли определение <sup>210</sup>Pb (общий), <sup>226</sup>Ra, <sup>137</sup>Cs. Определение возраста донных отложений и средней скорости осадконакопления в бассейне седиментации проводилось с помощью метода датирования современных осадков по избыточному (неравновесному) <sup>210</sup>Pb<sub>ex</sub> [Сапожников и др., 2020]. При расчёте скорости осадконакопления использовали модель Constant Flux (CF) [Sanchez-Cabeza, Ruis-Fernandes, 2010].

Радиометрический анализ проб выполнен в лаборатории Мурманского морского биологического института. Удельная активность радионуклидов <sup>226</sup>Ra и <sup>137</sup>Cs измерена на спектрометре гамма-излучения «InSpector-2000», <sup>210</sup>Pb определяли на спектрометрической установке гамма- и рентгеновского излучения «b13237» (фирмы «Canberra», США). Спектры анализировали с помощью базового программного обеспечения «Genie-2000». Измерения проводили в сосудах геометрии «банка» объемом 100 мл. Перед измерением все исследуемые образцы осадков высушивали при температуре менее 100°C,

гомогенизировали и оставляли на 14 дней в герметичных сосудах (геометрия «банка») для предотвращения диффузии газообразного  $^{222}\text{Rn}$  из образца. Затем проводили измерение счетного образца, время измерения 12-24 ч.

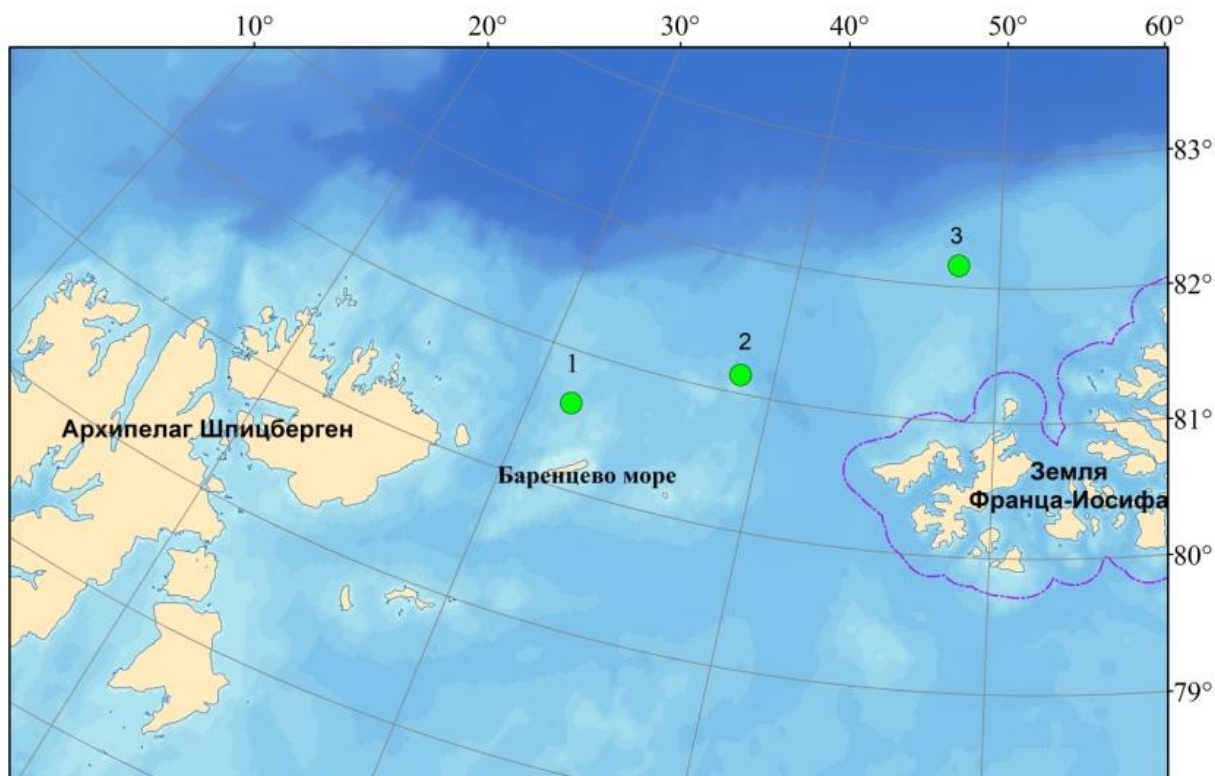


Рис. 1. Точки отбора проб кернов донных отложений

В керне № 1 удельная активность  $^{210}\text{Pb}$  по всей вскрытой осадочной толще колебалась в пределах от 29.5 до 131  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  от 33.0 до 41.5  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ .  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  экспоненциально снижался от верхних к нижним вскрытым горизонтам (коэффициент корреляции  $R=0.9$ ). Содержание  $^{137}\text{Cs}$  в керне № 1 варьировало от 3.7  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  в верхних слоях до 0.3  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  в нижних горизонтах (Рис. 2).

В керне № 2 диапазон удельной активности  $^{210}\text{Pb}$  по всей вскрытой осадочной толще составлял 24.3-222  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  25.8-37.3  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Снижение  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  от верхних к нижним вскрытым горизонтам также описывалось экспонентой (коэффициент корреляции  $R=0.9$ ).  $^{137}\text{Cs}$  обнаружен только в горизонтах от 0 до 6 см, нижележащие слои не содержали этот радионуклид. Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  в керне варьировала в пределах от 0.1 до 2.4  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (Рис. 2).

Удельная активность  $^{210}\text{Pb}$  в керне № 3 по всей вскрытой осадочной толще составляла 15-117  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ ,  $^{226}\text{Ra}$  10.3-14  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$ . Убывание  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  происходило аналогично кернам № 1,2 (коэффициент корреляции  $R=0.9$ ).  $^{137}\text{Cs}$  обнаружен только в горизонтах 0-4 см, его удельная активность составляла 0.4-1.3  $\text{Бк}\cdot\text{кг}^{-1}$  (Рис. 2).

При расчёте возраста осадочных горизонтов керна № 1 с использованием модели Constant Flux (CF) выявлено, что на глубине 8 см удельная активность  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  значительно снижается, следовательно, в нижележащих слоях обнаруживается  $^{210}\text{Pb}$ , находящийся в вековом равновесии с продуктами распада  $^{226}\text{Ra}$ . Определенный возраст горизонта 8 см - 1915 г., он является нижней границей рассчитанного периода. Увеличение концентрации антропогенного маркера  $^{137}\text{Cs}$  в керне № 1 наблюдалось в слоях, сформированных в период с 1961 (период ядерных испытаний на Новой Земле) по 1983 годы. Второй пик  $^{137}\text{Cs}$  наблюдался в период, определенный 1983-1997 гг. (трансокеанический перенос сбросов западноевропейских радиохимических заводов). Обнаружение  $^{137}\text{Cs}$  в донных отложениях на горизонтах ниже 8 см

может быть следствием перемешивания осадочных слоёв (таблица). Значения вертикального потока осадочных частиц и скорости седиментации изменялись в пределах от  $0.07$  до  $0.2 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$  и от  $0.06$  до  $0.12 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$  (Рис.3).

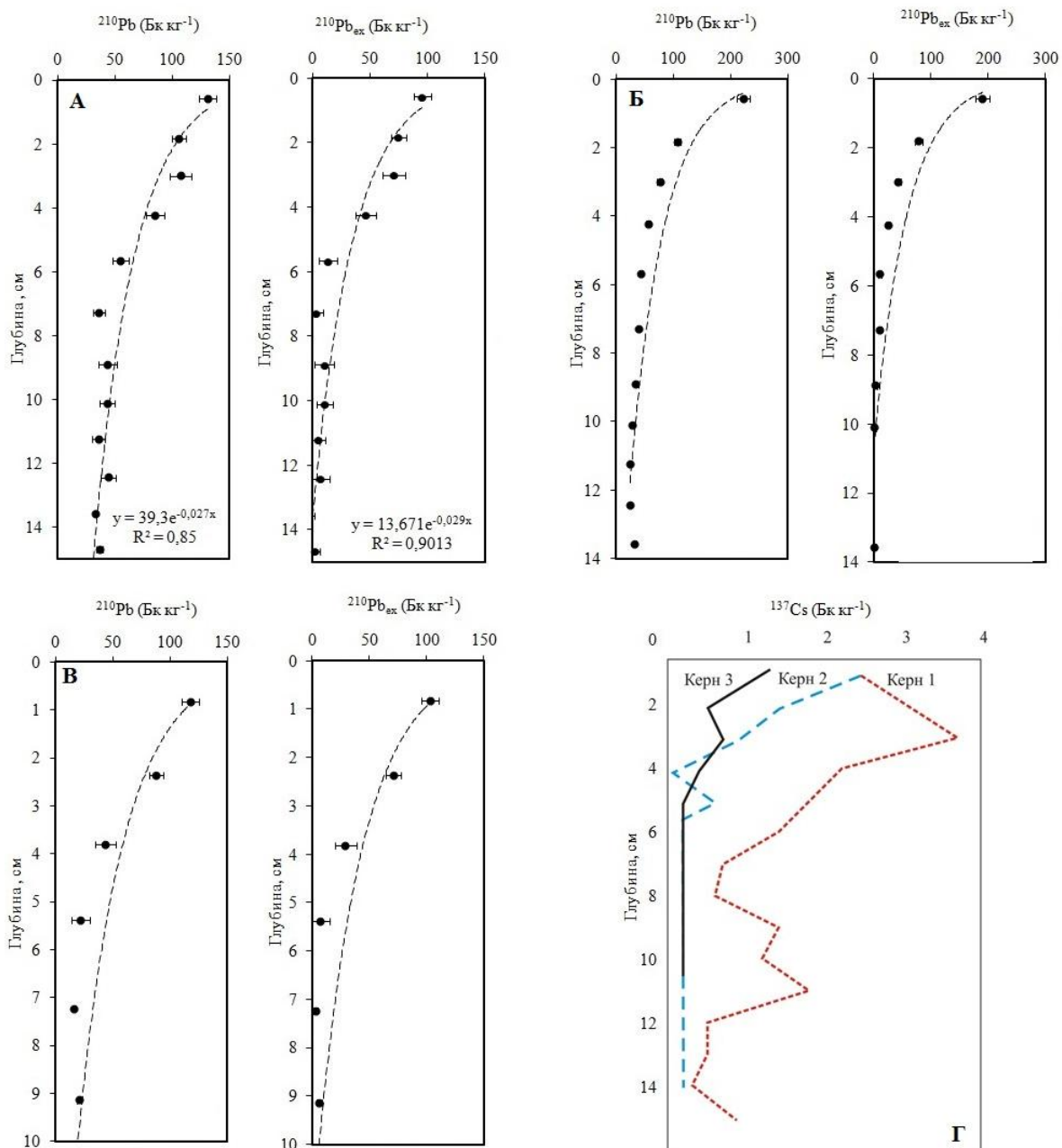


Рис. 2. Удельные активности  $^{210}\text{Pb}$  (общего),  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  (избыточного) в осадочных горизонтах: А - керн № 1; Б - керн № 2; В - керн № 3; Г -  $^{137}\text{Cs}$  в кернах № 1, 2, 3

В керне № 2 удельная активность  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  снижалась до минимальных значений на глубине 7 см, расчетная нижняя граница определяемого периода - 1920 г. Верификация реконструированного периода с помощью  $^{137}\text{Cs}$  показала, что в «доядерный» период до 1940-1950-х гг. удельная активность радиоизотопа была ниже предела обнаружения гамма-спектрометром (минимально детектируемая активность  $< 0.2 \text{ Бк} \cdot \text{кг}^{-1}$ ). После 1950-х гг. по настоящее время содержание радиоцезия увеличивалось (таблица). Значения вертикального потока осадочных частиц и скорости седиментации в керне № 2 изменялись в пределах от  $0.07$  до  $0.3 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$  и от  $0.07$  до  $0.27 \text{ см} \cdot \text{год}^{-1}$  соответственно (Рис.3).

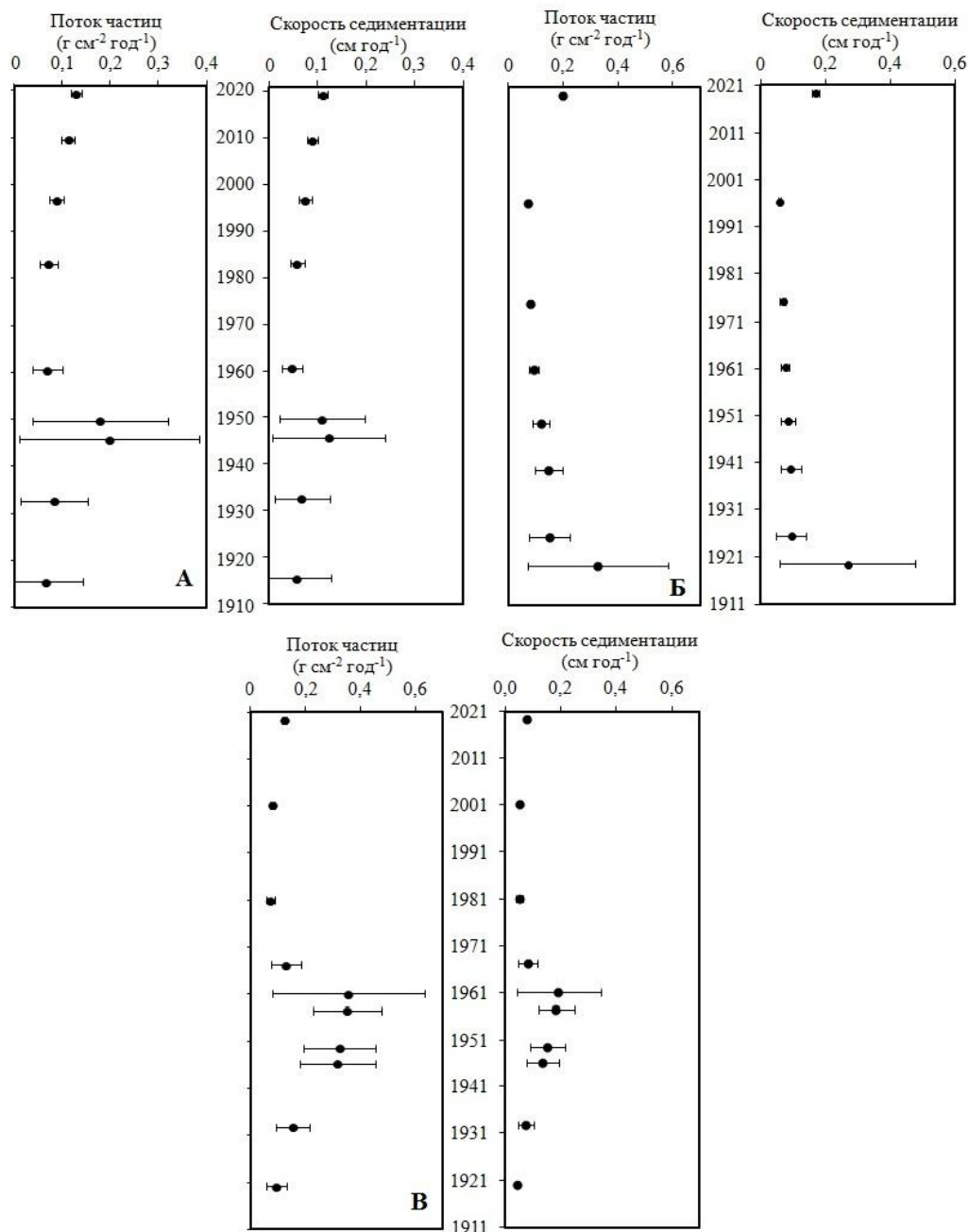


Рис. 3. Изменение потока осадочных частиц и скорости осадконакопления: А - станция 1; Б - станция 2; В - станция 3

В керне № 3 удельная активность  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  снижалась до минимальных значений на глубине 7 см. Расчетная нижняя граница определяемого периода - 1920 г. Обнаружение маркера  $^{137}\text{Cs}$  в слое 3-4 см подтверждает определенный нами с помощью модели Constant Flux (CF) временной диапазон 1961-1967 гг. (максимумы атмосферных выпадений радионуклидов в период испытаний ядерного оружия на Новой Земле). Удельная активность  $^{137}\text{Cs}$  увеличивается до поверхностного слоя керна (таблица). Значения вертикального потока осадочных частиц и скорости седиментации и изменялись в пределах от 0.07 до 0.36 г см<sup>-2</sup> · год<sup>-1</sup> и от 0.05 до 0.19 см · год<sup>-1</sup> соответственно (Рис.3).

Полученные керны донных отложений были отобраны на значительном удалении от суши в глубоководной зоне (более 100 м) с низкой гидродинамической активностью. Для этой зоны характерны постоянные условия седиментации. Здесь отмечается устойчивая аккумуляция осадков в течение почти всего позднечетверичного времени [Навигатский и др. 2018]. Эти факты позволяют предположить, что установленная нами скорость

осадконакопления (последние 100 лет) может быть экстраполирована на более ранние временные периоды.

Табл. Верификация реконструированного возраста кернов донных отложений с помощью антропогенного маркера  $^{137}\text{Cs}$

Керн 1		
Горизонт, см	Реконструированный период±неопределенность, год н.э.	Удельная активность $^{137}\text{Cs}$ , Бк·кг <sup>-1</sup>
0-1	2019-2010 ±1	2.4 ± 0.6
1-2	2010-1997 ±2	3.1 ± 0.3
2-3	1997-1983±5	3.7 ± 0.6
3-4	1983-1961 ±5	2.2 ± 0.4
4-5	1961-1950 ±11	1.8 ± 0.6
5-6	1950-1946 ±14	1.6 ± 0.3
6-7	1946-1933 ±15	0.7 ± 0.2
7-8	1933-1915 ± 19	0.6 ± 0.1
Керн 2		
0-1	2019-1996	2.42±0.4
1-2	1996-1975 ±1	1.41±0.2
2-3	1975-1961±3	0.89±0.3
3-4	1961-1950±4	0.10±0.05
4-5	1950-1940±6	0.60±0.1
5-6	1940-1926± 8	<0.20
6-7	1926-1920±13	<0.20
Керн 3		
0-1	2019-2001	1.3±0.3
1-2	2001-1981± 1	0.5±0.1
2-3	1981-1967±4	0.7±0.1
3-4	1967-1961± 6	0.4±0.1
4-5	1961-1957±5	<0.2
5-6	1957-1950±5	<0.2
6-7	1950-1946±6	<0.2
7-8	1946-1933±6	<0.2
8-9	1933-1920±7	<0.2

Таким образом, темпы осадконакопления изученных кернов донных отложений, отобранных в бассейне Северного ледовитого океана, изменяются в диапазоне от 0.05 см·год<sup>-1</sup> до 0.27 см·год<sup>-1</sup>, что выше средних значений, известных ранее.

Определенная нами верхняя граница установленного диапазона рассчитана по керну № 2 на (горизонт 7 см), что соответствует 1920 г. Однако, для этих данных характерна высокая погрешность (рис.3), поэтому мы можем пренебречь этим результатом. Считаем возможным принять в качестве верхнего диапазона значение 0.17 см·год<sup>-1</sup>, которое обнаружено в этом же керне с низкой погрешностью в период с 1999 г по 2019 гг. Повышение скорости осадконакопления может быть связано со склоновыми процессами, происходящими в этот период в желобе Франц-Виктории.

Лабораторная обработка и радиометрический анализ проб выполнены в рамках темы государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Мурманского морского биологического института Российской академии наук (ММБИ РАН).

Расчеты по результатам проведенного радиометрического анализа выполнены за счет гранта Российского научного фонда (проект №21-77-20038).

## ЛИТЕРАТУРА

Новигатский А.Н., Ключиткин А.А., Лисицын А.П. Океанологические исследования. 2018. Том 46. № 2. С. 167–179.

Радиоактивность окружающей среды: теория и практика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Сапожников Ю.А., Алиев Р.А., Калмыков С.Н. - Москва: Лаборатория знаний. 2020. - 287 с. - ISBN 978-5-00101-928-2.

Тарасов Г.А., Погодина И.А., Хасанкаев В.Б., Кукина Н.А., Митяев М.В. Процессы седиментации на гляциальных шельфах. Апатипы: КНЦ РАН. 2000. 473 с.

Gusev E.A., Maksimov F.E., Novikhina E.S., Kuznetsov V.Yu., Levchenko S.B., Zherebtsov I.E., and Baranova N.G. On stratigraphy of bottom sediments from Mendeleev Rise (the Arctic Ocean) Region // Vestnik Saint-Petersburg University. Ser. 7. 2012. № 4. P. 102–115.

Ivanova E.V., Murdmaa I.O., Duplessy J.C., Paterne M. Late Weichselian to Holocene paleoenvironments in the Barents Sea // Global and Planetary Change. 2002. Vol. 34(3–4). P. 209–218. Doi: 10.1016/S0921-8181(02)00116-9

Levitan M.A., Syromyatnikov K.V., Kuz'mina T.G. Lithological and geochemical characteristics of recent and Quaternary sedimentation in the Arctic Ocean // Geochemistry International. 2012. Vol. 50. Is. 7. P. 559–573. doi: 10.1134/S001670291207004X

Lisitzin A.P. Sea-ice and iceberg sedimentation in the ocean: recent and past. Springer. 2002. 563 p.

Kulikov N.N., Lapina N.N., Semenov Yu.P., Belov N.A., Spiridonov M.A. Stratifikaciya i skorosti nakopleniya donnyh otlozhenij Arkticheskikh morej SSSR // Severnyj Ledovityj okean i ego poberezh'e v kajnozoe. Leningrad. Gidrometeoizdat. 1970. P. 34–41.

Mityaev M.V., Gerasimova M.V., Druzhkova E.I. Vertical particle fluxes in the coastal areas of the Barents and White Seas // Oceanology. 2012. Vol. 52(1). P. 112–121. doi:10.1134/S0001437012010158

Morris T.H., Clark D.L., Blasco S.M. Sediments of the Lomonosov Ridge and Makarov Basin: A. Pleistocene Stratigraphy for the North Pole // Bull. Geol. Soc. America. 1985. Vol. 96. P. 901–910. doi: 10.1130/0016-7606(1985)96<901:SOTLRA>2.0.CO;2

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. <sup>210</sup>Pb sediment radiochronology: An integrated formulation and classification of dating models // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2012. Vol. 82. P. 183–200. doi:10.1016/j.gca.2010.12.024

Sellen E., Jakobsson M., Frank M., and Kubik P.W. Pleistocene variations of beryllium isotopes in central Arctic Ocean sediments // Global and Planetary Change. 2009. Vol. 68. P. 38–47. doi:10.1016/j.gloplacha.2009.03.024

Stein R. Arctic Ocean sediments. Processes. proxies. and paleoenvironment. Amsterdam: Elsevier. 2008. 592 p.

Winkelmann D., Knies J. Recent distribution and accumulation of organic carbon on the continental margin west off Spitsbergen // Geochemistry Geophysics Geosystems. 2005. 6. Paper Q09012. doi:10.1029/2005GC000916.

**<sup>210</sup>Pb DATING OF THE BOTTOM SEDIMENT CORES OF THE ARCTIC OCEAN BASIN  
IN THE AREAS OF AN ACTIVE ICEBERG DRIFT**

*<sup>1,2</sup>Meshcheriakov N.I., <sup>1</sup>Usyagina I.S., <sup>2,3</sup>Kokin O.V.*

<sup>1</sup>Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia;  
meshcheriakov104@mail.ru

<sup>2</sup>Zubov State Oceanographic Institute, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Moscow, Russia

The results of studies of the bottom sediment cores taken in the expedition "Transartkika-2019" are presented. Three columns of bottom sediments up to 15 cm thick were analyzed. The ages of the sedimentary horizons were determined by <sup>210</sup>Pb method, the results were verified using the anthropogenic pollution marker - <sup>137</sup>Cs. New data on recent sedimentation rates in the Arctic Ocean basin have been obtained.

Keywords: *sedimentation, radionuclides, the Arctic Ocean basin*