

doi: 10.24412/2687-1092-2024-11-391-399



РАДИОДАТИРОВАНИЕ ПО ^{210}Pb , ^{137}Cs и ^{241}Am КОЛОНОК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ВПАДИНЫ БАРЕНЦЕВА МОРЯ

✉ Усягина И.С.¹, Мещеряков Н.И.¹, Иванова Н.С.¹, Кокин О.В.²

¹ФГБУ «ММБИ», Мурманск, Россия

²Геологический институт РАН, Москва, Россия

✉ usjagina@mmbi.info

Представлены результаты исследования пяти колонок донных отложений из Центральной впадины Баренцева моря, отобранных в экспедиции ММБИ РАН на НИС «Дальние Зеленцы» в 2022 г. Датирование вскрытой осадочной толщи и скорость осадконакопления определяли по избыточному ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am . Выполнена реконструкция загрязнения донных осадков радиоцезием на дату датирования 1955 и 1963 гг. и 1980 гг. В двух колонках обнаружено повышение уровней ^{137}Cs в слоях, которые отнесены к 2009-2019 гг. Установлено, что темпы осадконакопления в исследуемом районе за последние ~100 лет изменялись в пределах 0,013—0,42 см/год.

Ключевые слова: *Баренцево море, седиментация, хронология осадконакопления, датирование по ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am*

Отрицательные формы рельефа дна – впадины и котловины, не испытывающие размывающего воздействия придонных течений, перемешивания и перераспределения осадочного вещества являются индикаторами для исследования антропогенного влияния в морских бассейнах. Данные о накоплении искусственных радионуклидов в донных отложениях Баренцева моря в период и после прекращения «ядерной» эпохи, представляют научный интерес как оценки последствий загрязнения для донных сообществ так и для изучения природных процессов с применением радиоактивных трассеров.

Целью настоящей работы была реконструкция возраста современных донных отложений и скорости седиментации в Центральной впадине Баренцева моря и оценка возможных тенденций изменения в перераспределении техногенных изотопов во второй половине XX в. Возраст осадочных слоев в пределах 100-150 лет успешно определяется методом избыточного ^{210}Pb , [Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernandez, 2012]. В исследованиях последних лет в арктических морях много внимания этой проблеме уделяется в Карском и Восточно-сибирском морях [Rusakov et al., 2024a, 2024b; Kokin et al., 2023], а хронология современной осадочной толщи Баренцева моря изучена фрагментарно [Aliev et al., 2007; Zaborska et al., 2007; Мещеряков и др., 2023].

Выбор Центральной впадины в качестве объекта исследования выполнен на основании ее геоморфологических особенностей — она охватывает наибольшие глубины в восточной части Баренцева моря и является самой большой по площади и глубине (>300 м) депрессией донного рельефа. Расположение объекта предполагает непосредственное воздействие нескольких источников радиоактивного загрязнения, индикаторы которых предполагалось исследовать в настоящей работе. В первую очередь это губа Чёрная - южная площадка Новоземельского ядерного полигона, где в период 1955-1962 гг. проводились надводные и подводные ядерные испытания [Khalturin et al., 2005], индикаторы — выпавшие с атмосферными осадками ^{137}Cs и ^{241}Am (дочерний продукт распада ^{241}Pu). Второй источник океанический — перенос течениями из Ирландского моря отходов европейских радиохимических предприятий, которые достигали Баренцева моря через 4-5 лет (максимум сбросов в 1974-1977 гг.), основной трассер ^{137}Cs [Kautsky, 1988; Сивинцев и др., 2005]. И третий — атмосферные выпадения ^{137}Cs после аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.) [Сивинцев и др., 2005].

Методика исследований. Центральная впадина Баренцева моря оконтурена изобатой 300 м и имеет максимальную глубину 386 м. Она простирается к западу от Западно-Новоземельского желоба, на юге граничит с Мурманской, Северо-Канинской и Гусиной банками, на западе ограничена Центральным плато и Центральной возвышенностью. Над впадиной существует система теплых и холодных течений [Loeng, 1991]. Отбор проб проводили в точках, где, предположительно, не происходит размыва поверхностного слоя донных отложений, чтобы соблюдалось условие постоянного потока взвешенного вещества, требуемое при проведении датирования по избыточному ^{210}Pb . Точки отбора проб отмечены на рисунке 1.

Материал для исследования был отобран в Баренцевом море в экспедиции на научно-исследовательском судне «Дальние Зеленцы» в феврале-марте 2022 года (рис. 1). Отбор пяти колонок донных отложений проводили с борта судна с помощью трубки ГОИН 1,5. Колонки были разделены на слои дискретностью по 1 или 2 см, достаточные для обеспечения приемлемого временного разрешения интервалов датирования и для гранулометрического анализа. Далее образцы замораживали при температуре -18°C . После окончания экспедиции пробы доставляли в ММБИ РАН, где проводился их радиометрический и гранулометрический анализ.



Рис. 1 Карта-схема отбора проб в Баренцевом море. Пробы отобраны на НИС «Дальние Зеленцы» с 22.02.2022 по 06.03.2022 г. Стрелки течений приведены в соответствии с Loeng (1991).

В лаборатории перед радиометрическими измерениями все исследуемые образцы осадков сушили при комнатной температуре, измельчали и выдерживали не менее 30 дней в герметично закрытых сосудах. Измерения проводили в этих же сосудах после достижения равновесия. Время измерения – 85000 с.

Измерения общего ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$), ^{226}Ra , ^{137}Cs и ^{241}Am проводили в ММБИ РАН на многоканальном гамма-спектрометре для измерения рентгеновского и гамма-излучения (Canberra Semiconductors NV, Olen, Belgium) со свинцовой защитой экрана детектора HPGe-2P производства компании «Аспект» (Дубна, Россия). Регистрирующая часть спектрометра — широкополосный детектор из сверхчистого германия BE5030 с диапазоном охвата гамма-квантов с энергией от 3 кэВ до 3 МэВ. Обработку спектров и идентификацию радионуклидов выполняли с помощью программного обеспечения Genie-

2000 (версия 3.3). Для определения активности избыточного ^{210}Pb , поступившего с атмосферными выпадениями, из значений $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ был вычтен «фоновый» ^{210}Pb , образующийся *in situ* в грунте, который определяли по основным линиям ^{226}Ra . Данные измерений были скорректированы на дату сбора кернов, результаты приведены на основе сухого веса с поправкой на самопоглощение и геометрию образца.

Возраст осадочных слоев колонок и скорость осадконакопления определяли по трем моделям датирования, CIC (CA), CFCS, CRS (CF) [Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernandez, 2012]. Результаты приведены для моделей, которые подтверждались независимыми хроностратиграфическими маркерами (табл. 1).

Гранулометрический анализ выполняли по методу ВНИИОкеангеологии без химического воздействия на донные отложения [Андреева, Лапина, 1998]. Пробы высушивали при температуре 105 °C до постоянного веса. Высушенные образцы заливали дистиллированной водой и кипятили в течение 30 минут. Полученную суспензию растирали резиновым пестиком, после чего вновь заливали дистиллированной водой (T=100 °C) и охлаждали до комнатной температуры. Разделение размерных фракций в пробах проводили согласно этапам, указанным в методике. Удаление фракции пелита (<0,01) контролировали под микроскопом.

Результаты и обсуждение. Результаты радиометрических измерений $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, ^{137}Cs и ^{241}Am , а также данные по содержанию фракции пелита (%) в осадочных слоях исследуемых колонок представлены на рис. 2. Выбор пелита для демонстрации результатов был сделан с целью сравнения с данными по содержанию техногенных радионуклидов по профилю колонки, так ранее в экспериментальных условиях была установлена корреляционная связь между этими параметрами [Матишов и др., 2001]. В экспедиционных исследованиях также была обнаружена взаимосвязь между содержанием пелита в поверхностном слое донных отложений и удельной активностью $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ [Rusakov et al., 2019]. Осадки с содержанием пелитовой фракции (<0.01 мм) более 50% занимают около 70% площади Баренцева моря [Политова и др., 2001]. В настоящем исследовании подтверждаются данные литературы и предварительные оценки гранулометрического состава осадков [Усягина и др., 2023], Во всех колонках за исключением 22 и 54 преобладает гранулометрическая фракция пелита (менее 0,01 %) (рис. 2).

Радиометрические измерения. В колонке 22 удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ варьирует от 30,0 до 178,5 Бк/кг. Среднее значение ^{226}Ra составляет $21,6 \pm 3,2$ Бк/кг. Содержание $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ изменяется от 2,7 до 155,9 Бк/кг. Судя по измерениям, граница равновесия между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ находится на глубине 33 см. Техногенный радионуклид ^{137}Cs обнаружен в профиле колонки в слоях 1,5, 2,5, 9,5, 12,5 и 20 см в диапазоне значений от 0,5 до 2,7 Бк/кг, в остальных слоях — менее минимально детектируемой активности (<МДА).

В колонке 31 удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ варьирует от 45,7 до 257,4 Бк/кг. Среднее значение ^{226}Ra составляет $33,4 \pm 3,4$ Бк/кг. Равновесие между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в нижних осадочных слоях не достигнуто [Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernandez, 2012]. Техногенный радионуклид ^{137}Cs обнаружен только в слоях 1,5, 3,5 и 5,5 см в пределах от 1,8 до 4,6 Бк/кг. Измерения не выявили равновесный горизонт между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в нижней части колонки.

В колонке 42 удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ составляет от 57,4 до 440,8 Бк/кг. В поверхностном слое его содержание существенно выше, чем в других колонках. Рассчитанная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ на этом горизонте также повышена (388,9 Бк/кг). Среднее содержание ^{226}Ra — $36,5 \pm 7,5$ Бк/кг. ^{137}Cs по профилю не обнаруживается, но в слое 18 см количественно определен другой техногенный радионуклид — ^{241}Am (период полураспада 432,2 г.). В настоящее ^{241}Am часто обнаруживается при гамма-спектрометрических измерениях. Он образуется в результате распада «оружейного» ^{241}Pu (период полураспада 14,4 г.), выпавшего в арктический бассейн в составе радиоактивных осадков и менее подвижен в донных отложениях, чем ^{137}Cs . ^{241}Am предлагает

альтернативу использования глобального ^{137}Cs при датировании недавних отложений на тех участках, где данные по ^{137}Cs отсутствуют. Расчеты прироста ^{241}Am по сравнению с ^{241}Pu указывают распределение, аналогичное распределению ^{137}Cs , при этом максимальная активность ^{241}Am приходится на радиоактивные осадки, датированные 1963 и 1986 гг. [Appleby et al., 1991; 2023; Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernandez, 2012]. Судя по измерениям, граница равновесия между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ находится на глубине 33-35 см.

В колонке 43 удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ варьирует от 44,7 до 280 Бк/кг. Среднее значение ^{226}Ra составляет $36,5 \pm 6,4$ Бк/кг. Содержание $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ изменяется от 7,9 до 235,5 Бк/кг. Техногенный радионуклид ^{137}Cs обнаружен в слоях 1,5—5,5, 16 и 28 см в пределах от 0,4 до 4,9 Бк/кг. Измерения не выявили равновесный горизонт между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в нижней части колонки.

В колонке 54 удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ варьирует от 22,1 до 333,0 Бк/кг. Среднее значение ^{226}Ra составляет $21,6 \pm 3,2$ Бк/кг. Содержание $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ изменяется от 0 до 313,0 Бк/кг. Судя по измерениям, граница равновесия между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ находится на глубине 3,5 см. Техногенный радионуклид ^{137}Cs обнаружен в профиле колонки в слое 3,5 см, его удельная активность 3,0 Бк/кг.

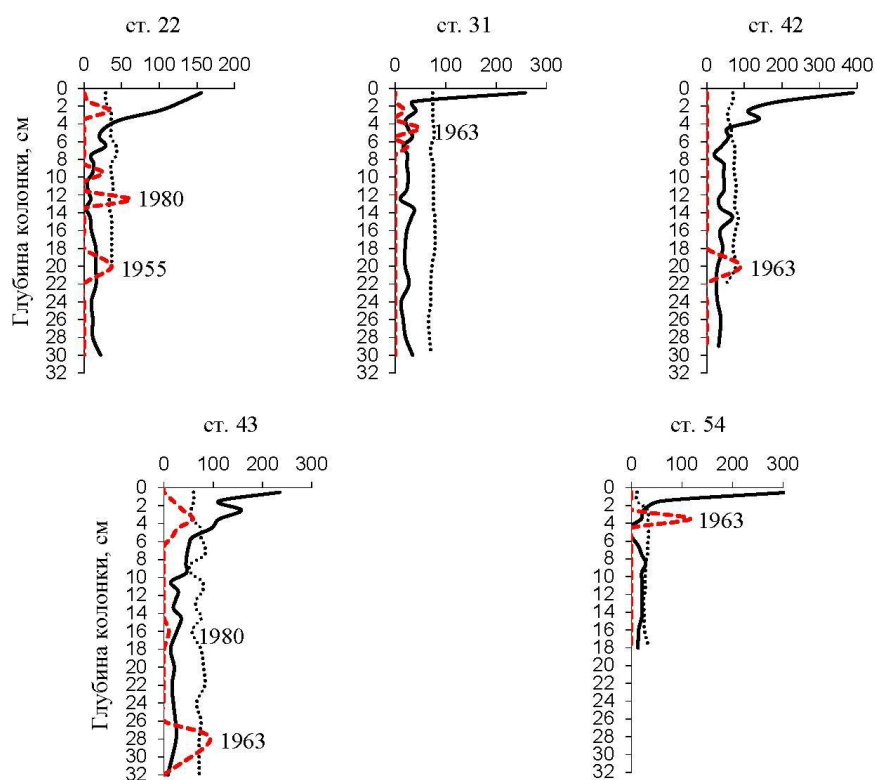


Рис. 2 Профили удельной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, ^{137}Cs и ^{241}Am и содержания фракции пелита (менее 0,01 мм) в осадочных слоях исследуемых колонок. Даты на рисунке обозначают соответствие пиков ^{137}Cs и ^{241}Am повышению уровней радиоактивности в Баренцевом море.

— Удельная активность $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, Бк/кг
 --- Удельная активность ^{137}Cs на (п·10 Бк/кг) ст. 22, 31, 43, 54 и ^{241}Am (п·10² Бк/кг) на ст. 42 в Бк/кг.
 Содержание фракции пелита (<0.01 мм), %.

Геохронологический анализ и скорость осадконакопления представлены в табл. 1.

Наблюдаемое устойчивое снижение удельной активности $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ с глубиной по профилю колонок характеризует стабильность процессов осадконакопления и дает возможность провести датировку слоев донного осадка. По результатам расчета

календарного возраста установлено, что вскрытая осадочная толща на станциях 22, 42, 43 и 31 начала формироваться в пределах 160 лет назад, а на ст. 54 ~560 лет назад. (рис. 2). Для верификации возраста осадков измеренную удельную активность ^{137}Cs пересчитывали на дату образования осадочных слоев и приводили на графике профиля в десятикратном увеличении, а удельную активность ^{241}Am в стократном (рис. 2).

Таблица 1. Результаты определения возраста осадочной толщи и скорости седиментации в колонках на ст. 22, 31, 42, 43, 54 с указанием методов расчета

№ ст. (длина колонки, см) / глубина моря, м	Хроностратиграфический маркер ^{137}Cs или ^{241}Am , год	Осадочный горизонт ¹ , см	Масса осадка под единицей площади, г/см ²	Модель расчета возраста осадочной толщи	Средняя скорость седиментации, см/год	Возраст осадочной толщи, кал.лет
22 (35 см)/ 222 м	1955 ² 1980 ⁴	12,5 9,5	14,3 10,2	^{137}Cs	0,22	165
				$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, CFCS	0,21	130
31 (59 см)/ 310 м	1963 ³	3,5	2,5	^{137}Cs	0,06	1000
				$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, CIC	0,13	454
42 (31 см)/ 350 м	1963 ³	18,0	9,6	^{241}Am	0,35	102
				$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, CF	0,15-0,75	106,1
43 (35 см)/ 365 м	1963 ³ 1980 ⁴	28,0 1,6	17,8 10,3	^{137}Cs	0,42	81
				$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, CFCS	0,40	77
54 (19 см)/ 267 м	1963 ³	3,5	2,7	^{137}Cs ⁵	0,06	322
				$^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$, CFCS	0,034 ⁶	559

¹ — приводится среднее значение глубины осадочного слоя, где обнаружен пик ^{137}Cs или ^{241}Am ;

² — первые испытания в Черной губе, арх. Новая Земля [Сыч, 2012];

³ — максимум атмосферных выпадений, зафиксированных в Северном полушарии после испытаний ядерного оружия [Khalturin et al., 2005];

⁴ — океанический перенос течениями из Ирландского моря отходов европейских радиохимических предприятий заводов «Селлафильд» и «Ла аг» [Kautsky, 1988];

⁵ — скорость седиментации рассчитана исходя из предположения о выпадениях радионуклида в 1963 г., в других слоях ^{137}Cs не обнаружен;

⁶ — данные не подтверждаются хроностратиграфическими маркерами;

В колонке 22 возраст толщи 0-35 см составляет 165 кал.лет. Даты формирования осадочных слоев рассчитывали с помощью трех моделей, однако среди этих вариантов CFCS оказался предпочтительным, поскольку обеспечивал с учётом погрешности лучшее согласование с удельной активностью ^{137}Cs в горизонте 12,5 см (рис. 2). Пик ^{137}Cs отнесен к 1955 г., когда проводились первые испытания в Черной губе на арх. Новая Земля [Сыч, 2012]. Рассчитанная скорость осадконакопления составляет приблизительно 0,2 см/год. Результаты гранулометрического анализа показали, что отложения колонки сложены преимущественно частицами алевритовой размерности (0,1-0,01 мм) со средним содержанием по профилю $51,0 \pm 2,0\%$, количество частиц пелитовой размерности (менее 0,01 мм) составляет $36,0 \pm 3,0\%$, песка (1,0-0,1 мм) — $12,1-2,5\%$.

В колонке 31 пики ^{137}Cs обнаружены только в верхних слоях. Возраст вскрытой осадочной толщи мощностью 59 см можно установить по первому появлению ^{137}Cs (слой 4-6 см) и при темпах седиментации 0,1 см/год должен составлять около 600 кал. лет. Средняя скорость осадконакопления по модели CIC и по пику ^{137}Cs в слое 3,5 см составляет 0,1 см/год. Расчеты по другим моделям дают завышенные значения, что, вероятно, связано с перемешиванием осадка в нижних слоях колонки. Приблизительный возраст толщи 59 см, рассчитанный по ^{137}Cs будет составлять 1000 кал. лет, а по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб.}}$ -

454 года. Отложения колонки сложены преимущественно частицами пелитовой размерности и составляют $73,0 \pm 3,4\%$. Среднее содержание алеврита $20,4 \pm 3,3\%$, песка — $5,9-2,0\%$.

Возраст осадочной толщи 0-31 см колонки 42 составляет приблизительно 106,1 кал. лет. Темпы седиментации и даты формирования осадочных слоев рассчитывали по модели CF. Датирование по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ подтверждено обнаружением ^{241}Am в горизонте 18 см ($0,9$ Бк/кг). При расчетах была принята гипотеза, что несмотря на отсутствие по всему профилю колонки характерного для донных отложений Баренцева моря ^{137}Cs , ^{241}Am может дать надежное подтверждение даты максимальных выпадений искусственных радионуклидов в Северном полушарии (1963 г.), так как ^{241}Pu , материнский нуклид ^{241}Am , наряду с его другими изотопами входит в состав продуктов ядерного деления «оружейного плутония» [Khalturin, 2005]. Рассчитанная скорость осадконакопления по ^{241}Am составляет приблизительно 0,35 см/год, по модели CF — 0,15-0,41 см/год. Отложения колонки сложены преимущественно частицами пелитовой размерности и составляют $70,6 \pm 8,4\%$. Среднее содержание алеврита $23,1 \pm 5,3\%$, песка — $6,2 \pm 4,2\%$.

В колонке 43 возраст толщи 0-35 см составляет приблизительно 81 кал. лет. Пик ^{137}Cs в слое 28 см подтверждает правильность хронологии по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ 1963 гг. (рис. 2). Модель CFCS показывают большую сходимость датирования по «реперной» дате, чем другие. Средняя скорость осадконакопления по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и по ^{137}Cs составляет приблизительно 0,4 см/год (табл. 2). Отложения колонки сложены преимущественно частицами пелитовой размерности и составляют $69,7 \pm 10,0\%$. Среднее содержание алеврита $23,0 \pm 6,9\%$, песка — $6,1 \pm 3,2\%$.

Возраст осадочной толщи 0-19 см колонки 54 составляет ~322 кал. лет. По результатам измерений установлено, что равновесие между «фоновым» ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ находится в слое 3,5 см. В этом же слое обнаружен единственный пик ^{137}Cs , в остальных слоях по профилю колонки удельная активность ^{137}Cs меньше МДА. По модели CSCF возраст толщи составляет 320 кал. лет. В таком случае мы предполагаем, что разделение на слои с дискретностью 1 см недостаточно для правильной интерпретации возраста по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в осадках из районов с низкой скоростью седиментации. Наша гипотеза — пик ^{137}Cs сформировался в период максимальных выпадений радионуклидов на акваторию Баренцева моря в 1963 г., в этом случае скорость осадконакопления 0,06 см/год будет более достоверна, чем рассчитанная по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ 0,03 см/год. Отложения колонки сложены преимущественно частицами алевритовой размерности и составляют $45,1 \pm 6,2\%$. Среднее содержание пелита $27,1 \pm 6,8\%$, песка — $26,1 \pm 6,1\%$.

Заключение. В настоящей работе получены новые данные о возрасте осадочной толщи колонок донных отложений мощностью 19—59 см в глубоководных районах Баренцева моря. Результаты изотопного датирования по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ подтверждены независимыми геохронологическими маркерами ^{137}Cs и ^{241}Am . Выполнена реконструкция загрязнения донных осадков радиоцезием на дату датирования 1955 и 1963 гг. и 1980 гг.

В верхних слоях колонок 22 и 43, датированных 2009-2019 гг. обнаружено повышение уровней ^{137}Cs . Поступление радионуклида в верхние горизонты осадка может быть объяснено таянием многолетних льдов и освобождением накопленной в них радиоактивности от атмосферных выпадений в конце XX— начале XXI в. [Мирошников и др., 2017].

Полученные данные по темпам современной седиментации сопоставимы с данными по западной и северной части Баренцева моря [Zaborska et al., 2008; Meshcheriakov et al., 2023], а также Карского моря [Rusakov et al., 2024; Rusakov, Borisov, 2023]. По оценкам средних темпов седиментации в голоцене на юге и центральной части Центральной впадины Баренцева моря по литературным данным [Murdmaa et al., 2006; Murdmaa, Ivanova, 2017] средняя скорость седиментации составила приблизительно 0,02 см/год. Тогда полученный нами результат позволяет говорить об увеличении темпов седиментации после Малого ледникового периода в 1,5–3 раза на юге и приблизительно

в 20 раз в центре котловины относительно средних значений голоцена [Иванова, Мурдмаа, 2001] что выделяет настоящий временной отрезок как период с повышением темпов седиментации на востоке Баренцева моря.

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания ММБ РАН по теме «Структурно-динамические трансформации пелагических экосистем морских арктических бассейнов в условиях техногенных и естественных изменений среды» № госрегистрации 124013000709-9 (30.01.2024) № в ГЗ FMEE-2024-0016. Исследование рельефа дна в районе Центральной впадины Баренцева моря выполнено при финансовой поддержке проекта РНФ № 21-77-2003.

ЛИТЕРАТУРА

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Авсарагов Х.Б., Намятов А.А. К вопросу об изменении коэффициента распределения ^{137}Cs между водой и донным осадком в морских экосистемах // Седиментологические процессы и эволюция морских экосистем в условиях морского перигляциала. 2001. С. 5-12.

Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Ильин Г.В. Хронология современного осадконакопления в проливе Стур-фьорд (архипелаг Шпицберген) // Геохимия. 2023. Т. 68. № 5. С. 521-532. doi: 10.31857/S001675252304009X

Мирошников А.Ю., Лаверов Н.П., Чернов Р.А., и др. Радиоэкологические исследования на севере архипелага Новая Земля // Океанология. 2017. Т. 57. № 1. С. 227-237. doi: 10.7868/S0030157417010099

Политова Н.В., Алексеева Т.Н., Козина Н.В. и др. Гранулометрический и минеральный состав верхнего слоя осадков Баренцева моря. Система Баренцева моря. Из-во: ООО "Издательство ГЕОС", 2021. С. 398-415. doi: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(29)

Сыч Ю.Г., Дубинко Л.В. Радиоэкологическая обстановка на архипелаге Новая Земля // Арктика: экология и экономика. 2012. №1(5). С. 48-59.

Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. М., ИздАТ, 2005. 624 с.

Усягина И.С., Мещеряков Н.И., Иванова Н.С. Предварительные результаты исследования хронологии осадконакопления в Центральной впадине Баренцева моря // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Естественные и гуманитарные науки. 2023. Т. 2. № 3. С. 95-102. doi: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.012

Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N. et al. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2007. Vol. 274. P. 315–321. doi: 10.1007/s10967-007-1117-x

Appleby P.G., Richardson N., Nolan P.J. ^{241}Am dating of lake sediments // Hydrobiologia. 1991. Vol. 214. P. 35–42. doi: 10.1007/BF00050929

Appleby P.G., Piliposyan G., Weckström J. et al. Delayed inputs of hot ^{137}Cs and ^{241}Am particles from Chernobyl to sediments from three Finnish lakes: implications for sediment dating // Journal of Paleolimnology. 2023. Vol. 69. P. 293–303. doi: 10.1007/s10933-022-00273-6

Kautsky H. Investigations on the distribution of ^{137}Cs , ^{134}Cs and ^{90}Sr and the water mass transport times in the Northern North Atlantic and the North Sea // Deutsche Hydrographische Zeitschrift. 1987. Vol. 40. P. 49–69. doi: 10.1007/BF02227035

Khalturin V.I., Rautian T.G., Richards P.G., Leith W.S. A Review of Nuclear Testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955-1990 // Science and Global Security. 2005. Vol. 13. P. 1–42. doi:10.1080/08929880590961862

Kokin O., Usyagina I.S., Meshcheriakov N.I. et al. Pb-210 Dating of Ice Scour in the Kara Sea // J. Mar. Sci. Eng. 2023. № 11. 1404. doi: 10.3390/jmse11071404

Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar Research. 1991. № 10(1). P. 5–18. doi: 10.3402/polar.v10i1.6723

Murdmaa I., Ivanova E., Duplessy J.-C. et al. Facies system of the Eastern Barents Sea since the last glaciation to present // *Marine Geology*. 2006. Vol. 230. Is. 3-4. P. 275–303. doi: 10.1016/j.margeo.2006.06.001

Murdmaa I.O., Ivanova E.V. Deglaciation of the Late Weichselian Barents Sea Ice Sheet // *Deglaciation Processes, Causes and Consequences*. M. Boone (Ed.). Hauppauge, NY USA: Terra Nova, 2017. P. 141–172.

Rusakov V. Y., Borisov A. P., Solovieva G. Yu. Sedimentation Rates in Different Facies–Genetic Types of Bottom Sediments in the Kara Sea: Evidence from the ^{210}Pb and ^{137}Cs Radionuclides // *Geochemistry International*. 2019. Vol. 57. № 11. P. 1185–1200. doi: 10.1134/S0016702919110077.

Rusakov V.Y., Borisov A.P. Sedimentation on the Siberian Arctic Shelf as an indicator of the arctic hydrological cycle // *Anthropocene*. 2023. Vol. 41. doi: 10.1016/j.ancene.2023.100370

Rusakov V. Y., Lukmanov R. A., Savin A. S. About fluctuations in the excess ^{210}Pb flux into the East Siberian Arctic Shelf sediments, the Laptev Sea // *J. of Environmental Radioactivity*. 2024. Vol. 273. doi: 10.1016/j.jenvrad.2024.107387

Rusakov V.Y., Lukmanov R.A., Soktoev B., Mishan'kin A.Y. Echoes of a Cold War // *Continental Shelf Research*. 2024. Vol. 283. Is. 2, 105347. doi: 10.1016/j.csr.2024.105347

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. ^{210}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

Zaborska A., Carroll J., Papucci C., Pempkowiak J. Intercomparison of alpha and gamma spectrometry techniques used in ^{210}Pb geochronology // *Journal of Environmental Radioactivity*. 2007. № 93. P. 38–50. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.11.007

Zaborska A., Carroll J., Papucci C. et al. Recent sediment accumulation rates for the Western margin of the Barents Sea // *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*. 2008. Vol. 55. Is. 20–21. P. 2352–2360. doi: 10.1016/j.dsr2.2008.05.026

RADIO-DATING METHOD OF ^{210}Pb , ^{137}Cs и ^{241}Am IN A SEDIMENT CORE FROM THE CENTRAL DEPRESSION OF THE BARENTS SEA

Usyagina I.S.¹, Meshcheriakov N.I.¹, Ivanova, N.S.¹, Kokin O.V.²

¹Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia

²Geological Institute RAS, Moscow, Russia

The results of a study of five columns of bottom sediments from the Central Depression of the Barents Sea, selected in the expedition of the MMBI RAS to the scientific research vessel «Dal'nie Zelency» in 2022, are presented. The dating of the exposed sedimentary strata and the sedimentation rate were determined by excess ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am . The reconstruction of contamination of bottom sediments with radiocesium at the date of dating 1955 and 1963 and 1980 was carried out. In two columns, an increase in ^{137}Cs levels was found in layers that were attributed to 2009–2019. It was found that the rate of sedimentation in the studied area over the past ~100 years has varied within the limits of 0.013—0.42 cm/year.

Keywords: *Barents Sea, sedimentation, chronology of sedimentation, dating according to ^{210}Pb , ^{137}Cs , ^{241}Am*

REFERENCES:

Matishov G.G., Matishov D.G., Avsaragov H.B., Namyatov A.A. On the issue of changing the ^{137}Cs distribution coefficient between water and bottom sediment in marine ecosystems // *Sedimentological processes and evolution of marine ecosystems in the conditions of marine periglacial*. 2001. P. 5–12. [In Russian].

Meshcheriakov N.I., Usyagina I.S., Ilyin G.V. The Chronology of Modern Sedimentation in the Storefjorden Strait (Svalbard Archipelago) // *Geochemistry International*. 2023. № 61(5). P. 529–538. DOI: 10.1134/S0016702923040092

Miroshnikov A.Y., Laverov N.P., Chernov R.A., Kudikov A.V., Ysacheva A.A., Semenov I.N., Aliev R.A., Asadulin E.E., Gavrilov M.V. Radioecological investigations on the Northern Novaya Zemlya Archipelago Oceanology. 2017. Vol. 57. № 1. P. 204-214.

Politova N.V., Alekseeva T.N., Kozina N.V., etc. Granulometric and mineral composition of the upper sediment layer of the Barents Sea. Barents Sea System. From: GEOS Publishing House LLC, 2021. pp. 398-415. DOI: 10.29006/978-5-6045110-0-8/(29)

Sych Yu., Dubinko L. Radioecological Conditions at Novaya Zemlya Archipelago Arctic: Ecology and Economy 2012. №1(5). P. 48-59.

Sivintsev Y. V., Vakulovsky S. M., Vasiliev A. P. et al. Technogenic Radionuclides in the Seas Surrounding Russia. Moscow, Izdat, 2005, 624 p. (In Russian).

Usyagina I.S., Mescheriakov N.I., Ivanova N.S. Preliminary results of the study of sedimentation in the Central Depression of the Barents sea Proceedings of the Kola Scientific Center. 2023. Vol. 2. № 3. P. 95-102. doi: 10.37614/2949-1185.2023.2.3.012

Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N. et al. Natural and artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region // Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 2007. Vol. 274. P. 315–321. doi: 10.1007/s10967-007-1117-x

Appleby P.G., Richardson N., Nolan P.J. ²⁴¹Am dating of lake sediments // Hydrobiologia. 1991. Vol. 214. P. 35–42. doi: 10.1007/BF00050929

Appleby P.G., Piliposyan G., Weckström J. et al. Delayed inputs of hot ¹³⁷Cs and ²⁴¹Am particles from Chernobyl to sediments from three Finnish lakes: implications for sediment dating // Journal of Paleolimnology. 2023. Vol. 69. P. 293–303. doi: 10.1007/s10933-022-00273-6

Kautsky H. Investigations on the distribution of ¹³⁷Cs, ¹³⁴Cs and ⁹⁰Sr and the water mass transport times in the Northern North Atlantic and the North Sea // Deutsche Hydrographische Zeitschrift. 1987. Vol. 40. P. 49–69. doi: 10.1007/BF02227035

Khalturin V.I., Rautian T.G., Richards P.G., Leith W.S. A Review of Nuclear Testing by the Soviet Union at Novaya Zemlya, 1955-1990 // Science and Global Security. 2005. Vol. 13. P. 1–42. doi:10.1080/08929880590961862

Kokin O., Usyagina I.S., Meshcheriakov N.I. et al. Pb-210 Dating of Ice Scour in the Kara Sea // J. Mar. Sci. Eng. 2023. № 11. 1404. doi: 10.3390/jmse11071404

Loeng H. Features of the physical oceanographic conditions of the Barents Sea // Polar Research. 1991. № 10(1). P. 5–18. doi: 10.3402/polar.v10i1.6723

Murdmay I., Ivanova E., Duplessy J.-C. et al. Facies system of the Eastern Barents Sea since the last glaciation to present // Marine Geology. 2006. Vol. 230. Is. 3-4. P. 275–303. doi: 10.1016/j.margeo.2006.06.001

Murdmay I.O., Ivanova E.V. Deglaciation of the Late Weichselian Barents Sea Ice Sheet // Deglaciation Processes, Causes and Consequences. M. Boone (Ed.). Hauppauge, NY USA: Terra Nova, 2017. P. 141–172.

Rusakov V. Y., Borisov A. P., Solovieva G. Yu. Sedimentation Rates in Different Facies–Genetic Types of Bottom Sediments in the Kara Sea: Evidence from the ²¹⁰Pb and ¹³⁷Cs Radionuclides // Geochemistry International. 2019. Vol. 57. № 11. P. 1185-1200. doi: 10.1134/S0016702919110077.

Rusakov V.Y., Borisov A.P. Sedimentation on the Siberian Arctic Shelf as an indicator of the arctic hydrological cycle // Anthropocene. 2023. Vol. 41. doi: 10.1016/j.ancene.2023.100370

Rusakov V. Y., Lukmanov R. A., Savin A. S. About fluctuations in the excess ²¹⁰Pb flux into the East Siberian Arctic Shelf sediments, the Laptev Sea // J. of Environmental Radioactivity. 2024. Vol. 273. doi: 10.1016/j.jenvrad.2024.107387

Rusakov V.Y., Lukmanov R.A., Soktoev B., Mishan'kin A.Y. Echoes of a Cold War // Continental Shelf Research. 2024. Vol. 283. Is. 2, 105347. doi: 10.1016/j.csr.2024.105347

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernández A.C. ²¹⁰Pb 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

Zaborska A., Carroll J., Papucci C., Pempkowiak J. Intercomparison of alpha and gamma spectrometry techniques used in ²¹⁰Pb geochronology // Journal of Environmental Radioactivity. 2007. № 93. P. 38-50. doi: 10.1016/j.jenvrad.2006.11.007

Zaborska A., Carroll J., Papucci C. et al. Recent sediment accumulation rates for the Western margin of the Barents Sea // Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography. 2008. Vol. 55. Is. 20-21. P. 2352-2360. doi: 10.1016/j.dsr2.2008.05.026