

ДАТИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННОЙ ОСАДОЧНОЙ ТОЛЩИ КРАЕВЫХ БАССЕЙНОВ ВОСТОЧНОГО МУРМАНА (КОЛЬСКИЙ ПОЛУОСТРОВ) НА ПРИМЕРЕ ГУБ ЯРНЫШНАЯ И ЗЕЛЕНЕЦКАЯ

Н. И. Мещеряков, И. С. Усягина, Г. В. Ильин, Н. С. Иванова

Мурманский морской биологический институт РАН (Мурманск, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 16 марта 2024 г.

Для цитирования

Мещеряков Н. И., Усягина И. С., Ильин Г. В., Иванова Н. С. Датирование современной осадочной толщи краевых бассейнов Восточного Мурмана (Кольский полуостров) на примере губ Ярнышная и Зеленецкая // Арктика: экология и экономика. — 2024. — Т. 14, № 3. — С. 393—405. — DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-393-405.

Исследуется седиментогенез в губах Кольского полуострова — наиболее востребованной и освоенной населением части прибрежного шельфа. В качестве основного инструмента используется метод радиоизотопной хронологии осадочных слоев по изменениям удельной активности природного изотопа ^{210}Pb и техногенного изотопа ^{137}Cs . Выявлено, что для краевых бассейнов Мурмана характерно монотонное осадконакопление в последние столетия. Средняя скорость осадконакопления составляет 0,15–0,17 см/год. Осадочная толща сложена материалом алевритово-перлитовой размерности. Установлено, что роль ледового разноса в формировании донного осадка в прибрежных губах за последние столетия снизилась.

Ключевые слова: радионуклиды, хронология седиментации, литотипы, Кольский полуостров, морское побережье.

Введение

В научной литературе разных лет с различной полнотой представлены сведения о климатических, геолого-морфологических и некоторых седиментологических особенностях Мурманского побережья [1—4]. Однако всесторонние исследования процессов осадконакопления в побережье до настоящего времени не производились. Наименее развито изучение седиментационных процессов в губах и заливах Кольского полуострова, для которого характерны изрезанность берегов и многообразие морфологических типов краевых бассейнов. Вследствие морфологических различий заливы и губы подвержены разному влиянию берегового стока и водообмена с открытым морем. В то же время они

тесно связаны с климатическими и экологическими изменениями. Особое внимание привлекает наследие так называемых ядерной и постъядерной эпох, опасные продукты которых захоронены в донных отложениях или представлены объектами береговой инфраструктуры атомного флота.

С появлением методов, позволяющих определять хронологию формирования осадочных слоев в течение последних 100—150 лет, стало возможно получить качественно новые данные, способные актуализировать представления о механизмах осадконакопления в прибрежных бассейнах седиментации. Одним из инструментов изучения пространственно-временной структуры донных отложений является радиоизотопное датирование осадочных слоев по изменениям удельной активности природного изотопа ^{210}Pb ($T_{1/2} = 22,2$ лет) и техногенного изотопа ^{137}Cs ($T_{1/2} = 30,08$ лет) [5—7]. Этот метод использо-



Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб (колонок донного осадка)
Fig. 1. Schematic map of sampling points (bottom sediment cores)

вался в основном для оценки радиоактивного загрязнения и контроля чрезвычайных ситуаций, связанных с выходом техногенных изотопов в морскую среду Кольского, Мотовского заливов, губы Андреева [8—10]. Данный инструментарий позволяет также получить достоверную информацию о недавней истории осадконакопления, изменениях условий седиментации по активности ^{210}Pb ($^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$).

Главной целью настоящего исследования стала хронологическая реконструкция современного осадконакопления в мелководных заливах Кольского полуострова на примере губ Восточного Мурмана, включая оценку роли климатических флуктуаций и влияния техногенной радиоактивности в Баренцевом море. Результаты исследований имеют фундаментальное научное и прикладное значение при развитии социально-хозяйственной деятельности в прибрежье Кольского полуострова, а также рассматриваются как накопление информации для последующих обобщений.

Район работ

Берег Восточного Мурмана сложен главным образом скальными породами и относится к абрази-

онному типу берегов [1]. Морозное выветривание, инсоляция и штормовое воздействие волн способствуют тому, что продукты абразии берегов интенсивно смываются в море. Однако поступление осадочного вещества в бассейны седиментации Мурманского побережья происходит главным образом за счет денудации осадочных пород Кольского полуострова и плоскостного смыва. Роль поставки минерального вещества за счет глыбовой абразии и речного стока незначительна [11]. Основные особенности современного седиментогенеза на Мурманском побережье определяются геолого-геоморфологическим строением береговой зоны и режимом климатических условий района [12].

Местом настоящего исследования стали бассейны седиментации в губах разного морфологического типа — Ярнышной и Зеленецкой (бухты Оскара) (рис. 1). Одним из критериев выбора района работ были наличие научно-прикладной базы, относительная изученность и хозяйственная востребованность объектов [13; 14]. Губа Ярнышная — фьорд с обрывистыми скалистыми берегами и несколькими

обсыхающими бухтами. В северной части губы расположена котловина с глубинами около 30 м. Соседняя губа Зеленецкая — мелководная бухта закрытого типа со сложным рельефом дна и берегов. Южная часть береговой линии представляет собой валунный и песчаный пляжи. Самая обширная и глубокая котловина в губе называется бухтой Оскара. Максимальные глубины в бухте не превышают 20 м.

В губе Ярнышная концентрация взвешенных веществ в летнее время варьирует от 0,17 до 2,58 мг/л в зависимости от участка залива и горизонта водной толщи. Близкая концентрация взвеси наблюдается в бухте Оскара — от 0,11 до 2,16 мг/л. Эти данные сопоставимы с показателями из других губ и заливов Кольского побережья от Варангер-фьорда до губы Порчниха [11; 15]. Реконструкция осадконакопления в изучаемых водоемах позволит выявить общие закономерности седиментации, характерные для краевых бассейнов Восточного Мурмана.

Материалы и методы

Материалом для исследования послужили колонки донных отложений ($n = 3$), отобранные в экспеди-

ции Мурманского морского биологического института РАН в августе 2023 г. В качестве орудия отбора использовали трубку ГОИН-1,5. В губе Ярнышной отбор одной колонки выполнен в наиболее глубоком участке залива на глубине 30 м. Мощность вскрытых отложений составила 28 см (колонка 1). Во впадине губы Зеленецкой — бухте Оскара отобраны две колонки в морфологически разных точках. Одна из них расположена на сублиторали на глубине 15 м. Мощность керна составила 44 см (колонка 2). Колонка 3 взята в точке максимальной глубины 19 м. Ее мощность составила 38 см (кern 3). Отобранные колонки в лабораторных условиях были разделены на слои с дискретностью 2 см. Полученные таким образом пробы осадка были взвешены, высушены до постоянной массы на установке лиофильной сушки Scientz-10N Ordinary, затем гомогенизированы. Далее был выполнен радиометрический анализ проб и определена удельная активность радиоизотопов ^{210}Pb , ^{226}Ra и ^{137}Cs . После не разрушающего структуру осадка радиометрического анализа в пробах были определены размерный состав частиц методом гранулометрии и косвенного показателя содержания органического вещества по потерям при прокаливании (ППП). Всего проанализировано 57 проб донных отложений.

Методика проведения измерений радионуклидов

Измерения удельной активности природных и техногенных радионуклидов в донных отложениях проводили на многоканальном гамма-спектрометре для измерения рентгеновского и гамма-излучения (Canberra, США) 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. Обработка спектров и идентификация радионуклидов проведены с помощью программного обеспечения Genie-2000 (версия 3.3).

Удельную активность ^{137}Cs определяли по линии 661,7 кэВ. Данные измерений были скорректированы на дату сбора кернов, результаты приведены на основе сухого веса с поправкой на самопоглощение и геометрию образца [16].

Чтобы обеспечить равновесие между изотопами ^{226}Ra и ^{222}Rn , ^{214}Pb и ^{214}Bi с целью хронологических исследований все образцы донных отложений перед измерением были выдержаны 30 дней в герметично закрытых сосудах [17; 18], после чего была измерена активность радионуклидов. Время измерения счетных образцов — 85 000 с. Общая удельная активность ^{210}Pb ($\Sigma^{210}\text{Pb}$) была измерена по его гамма-линии 46,5 кэВ ($^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$). Для определения активности избыточного свинца-210, поступившего с атмосферными выпадениями ($^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$), из значений $\Sigma^{210}\text{Pb}$ была вычтена активность фонового

^{210}Pb , образующегося *in situ* в грунте, определенная по основным линиям ^{226}Ra . Количественное определение ^{226}Ra было проведено с помощью ^{214}Pb (295,2 и 351,9 кэВ) и ^{214}Bi (1120 кэВ).

Методика расчета календарного возраста осадочных слоев донных отложений

Календарный возраст слоев донных отложений рассчитывали с использованием модели постоянного потока (CF), основанной на данных об избыточной активности ^{210}Pb с учетом поступления ^{210}Pb с потоком наносов на поверхности морского дна [6]. Слои, лежащие ниже принятой по измерениям границы равновесия между фоновым ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, не учитывались при расчете возраста отложений. Формула расчета:

$$t(i) = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{A(0)}{A(i)},$$

где $t(i)$ (лет) — возраст верхней части осадочного слоя; $A(i) = A(0)e^{-\lambda t}$, $A(0)$ (Бк/м²) — активность $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, накопленная на поверхности морского дна; λ — постоянная радиоактивного распада ^{210}Pb ($0,031\ 18 \pm 0,000\ 17$ лет⁻¹).

Скорость седиментации (см/год) в кернах 1—3 определяли по стандартной процедуре расчета в соответствии с методической рекомендацией [6].

Гранулометрический анализ

Гранулометрический анализ слоев донного осадка выполнен по методике, разработанной во ВНИИОкеангеологии [19]. Из-за значительного содержания органики в исследуемых донных отложениях в расчеты была введена поправка. Из общей массы навески вычитался вес органических соединений, что позволило уточнить данные минеральной составляющей осадка. Массу органических веществ определяли по размеру потерь после прокаливании. Из каждой пробы была отобрана алиquota, которую прокаливали в муфельной печи при температуре 450°C до постоянной массы [20]. Для интерпретации типов донных отложений использовали классификацию М. В. Кленовой [2], которая является наиболее удобным и точным инструментом для фиксации смены литотипов и условий осадконакопления в бассейне седиментации. Кроме того, эта классификация позволяет сравнить седиментогенез в исследованных бассейнах побережья Восточного Мурмана с ранее полученными данными, в том числе по участкам открытого моря.

Результаты и обсуждение

Удельная активность радионуклидов в осадочных слоях колонок и календарный возраст

Результаты гамма-спектрометрического анализа и возраст осадочных слоев в колонках донных отложений 1—3 представлены в табл. 1. Следует отметить, что в слоях старше середины 40-х годов

Изучение и освоение природных ресурсов Арктики

Таблица 1. Результаты измерения активности изотопов $\Sigma^{210}\text{Pb}$, ^{226}Ra , $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, ^{137}Cs и (Бк/кг) для отдельных горизонтов колонок с указанием стандартного отклонения δ и контроль возрастной модели по отношению $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$

Table 1. Results of measuring the activity of the isotopes $\Sigma^{210}\text{Pb}$, ^{226}Ra , $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$, ^{137}Cs and (Bq/kg) for individual core horizons, indicating the standard deviation δ and control of the age model with respect to $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$

| Горизонт, см | Массовая глубина, г/см ² | $\Sigma^{210}\text{Pb} \pm \delta$ | $^{226}\text{Ra} \pm \delta$ | $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}} \pm \delta$ | $^{137}\text{Cs} \pm \delta$ | $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ | $T^{1*} \pm u(T)^{2*}$ |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|--|------------------------|
| Колонка 1 | | | | | | | |
| 0—2 (1) | 0,49 | 291,0 ± 15,7 | 30,8 ± 3,4 | 260,2 ± 16,1 | 4,2 ± 0,4 | 0,02 | 2023 ^{3*} |
| 2—4 (3) | 1,58 | 246,0 ± 14,5 | 26,9 ± 3,5 | 219,1 ± 14,9 | 6,9 ± 0,4 | 0,03 | 2016 ± 0,7 |
| 4—6 (5) | 2,92 | 193,0 ± 16,8 | 28,3 ± 4,2 | 164,7 ± 17,3 | 7,4 ± 1,2 | 0,04 | 2005 ± 1,4 |
| 6—8 (7) | 4,67 | 87,6 ± 9,2 | 26,1 ± 2,7 | 61,5 ± 9,6 | 4,2 ± 0,5 | 0,07 | 1991 ± 2,5 |
| 8—10 (9) | 6,57 | 56,9 ± 5,9 | 31,0 ± 3,7 | 25,9 ± 7,0 | 3,4 ± 1,4 | 0,13 | 1980 ± 3,5 |
| 10—12 (11) | 8,28 | 83,2 ± 6,6 | 25,5 ± 3,7 | 57,7 ± 7,6 | 2,2 ± 1,1 | 0,04 | 1974 ± 4,0 |
| 12—14 (13) | 10,07 | 44,9 ± 4,7 | 19,2 ± 2,5 | 25,7 ± 5,3 | 3,0 ± 1,1 | 0,12 | 1959 ± 6,4 |
| 14—16 (15) | 11,87 | 37,7 ± 4,9 | 19,7 ± 2,8 | 18,0 ± 5,6 | 0,5 ± 0,9 | 0,03 | 1947 ± 9,2 |
| 16—18 (17) | 13,99 | 27,4 ± 5,5 | 21,7 ± 2,7 | 5,7 ± 6,1 | < МДА ^{4*} | | 1937 ± 12,4 |
| 18—20 (19) | 16,24 | 34,8 ± 7,6 | 24,9 ± 3,3 | 9,9 ± 8,3 | < МДА ^{4*} | | 1931 ± 13,5 |
| 20—22 (21) | 18,24 | 37,9 ± 5,0 | 25,2 ± 3,0 | 12,7 ± 5,8 | < МДА ^{4*} | | 1920 ± 16,1 |
| 22—24 (23) | 20,67 | 22,6 ± 5,4 | 21,5 ± 2,6 | 1,1 ± 6,0 | < МДА ^{4*} | | 1893 ± 32,5 |
| Колонка 2 | | | | | | | |
| 0—2 (1) | 0,64 | 123,6 ± 9,1 | 13,1 ± 3,8 | 110,5 ± 9,9 | 2,7 ± 1,3 | 0,02 | 2023 ^{3*} |
| 2—4 (3) | 2,10 | 73,2 ± 6,9 | 13,1 ± 2,7 | 60,1 ± 7,4 | 3,1 ± 1,3 | 0,05 | 2021 ± 0,3 |
| 4—6 (5) | 3,97 | 84,9 ± 5,9 | 10,0 ± 2,1 | 74,9 ± 6,3 | 2,9 ± 1,3 | 0,04 | 2019 ± 0,4 |
| 6—8 (7) | 5,77 | 99,9 ± 11,6 | 15,1 ± 3,4 | 84,8 ± 12,1 | < МДА ^{4*} | | 2015 ± 0,6 |
| 8—10 (9) | 7,62 | 101,2 ± 9,5 | 13,0 ± 2,3 | 88,2 ± 9,8 | < МДА ^{4*} | | 2011 ± 0,8 |
| 10—12 (11) | 10,09 | 104 ± 6,8 | 9,3 ± 1,8 | 94,7 ± 7,0 | 4,1 ± 1,2 | 0,04 | 2005 ± 1,1 |
| 12—14 (13) | 13,01 | 63,4 ± 6,3 | 10,4 ± 1,9 | 53,0 ± 6,6 | 6,5 ± 2,0 | 0,12 | 1995 ± 1,6 |
| 14—16 (15) | 15,99 | 42,7 ± 4,0 | 8,8 ± 1,5 | 33,9 ± 4,3 | 2,9 ± 1,0 | 0,09 | 1986 ± 2,1 |
| 16—18 (17) | 18,72 | 46,3 ± 6,6 | 13,5 ± 2,1 | 32,8 ± 6,9 | < МДА ^{4*} | | 1980 ± 2,5 |
| 18—20 (19) | 20,76 | 51,5 ± 7,1 | 14,8 ± 3,1 | 36,7 ± 7,7 | < МДА ^{4*} | | 1972 ± 2,9 |
| 20—22 (21) | 22,56 | 28,1 ± 4,1 | 13,1 ± 2,1 | 15,0 ± 4,6 | < МДА ^{4*} | | 1967 ± 3,4 |
| 22—24 (23) | 25,02 | 35,9 ± 6,3 | 11,1 ± 1,8 | 24,8 ± 6,6 | < МДА ^{4*} | | 1963 ± 3,7 |
| 24—26 (25) | 27,86 | 33,7 ± 2,8 | 9,3 ± 1,6 | 24,4 ± 3,2 | < МДА ^{4*} | | 1952 ± 4,4 |
| 26—28 (27) | 30,35 | 21,3 ± 2,9 | 9,4 ± 2,4 | 11,9 ± 3,8 | < МДА ^{4*} | | 1936 ± 6,8 |
| 28—30 (29) | 32,47 | 24,2 ± 2,7 | 13,5 ± 1,9 | 10,7 ± 3,3 | < МДА ^{4*} | | 1928 ± 8,4 |
| 30—32 (31) | 34,41 | 26,4 ± 2,8 | 12,7 ± 2,2 | 13,7 ± 3,6 | < МДА ^{4*} | | 1918 ± 11,1 |
| 32—34 (33) | 36,56 | 14,3 ± 6,2 | 9,9 ± 2,3 | 4,4 ± 6,6 | < МДА ^{4*} | | 1902 ± 17,5 |
| 34—36 (35) | 38,51 | 20 ± 5,2 | 16,9 ± 2,3 | 3,1 ± 5,7 | < МДА ^{4*} | | 1891 ± 15,0 |

Окончание табл. 1

| Горизонт, см | Массовая глубина, г/см ² | $\Sigma^{210}\text{Pb} \pm \delta$ | $^{226}\text{Ra} \pm \delta$ | $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}} \pm \delta$ | $^{137}\text{Cs} \pm \delta$ | $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ | $T^{1*} \pm u(T)^{2*}$ |
|--------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------|---|------------------------------|--|------------------------|
| 36—38 (37) | 40,78 | 21,2 ± 2,7 | 14,1 ± 1,6 | 7,1 ± 3,1 | < МДА ^{4*} | | 1886 ± 14,1 |
| Колонка 3 | | | | | | | |
| 0—2 (1) | 0,46 | 202,0 ± 10,7 | 15,0 ± 4,3 | 187,0 ± 11,5 | 4,0 ± 1,5 | 0,02 | 2023 ^{3*} |
| 2—4 (3) | 1,80 | 112,0 ± 6,4 | 20,5 ± 2,1 | 91,5 ± 6,7 | 1,8 ± 0,3 | 0,02 | 2017 ± 0,6 |
| 4—6 (5) | 3,55 | 106,2 ± 11,3 | 16,9 ± 3,1 | 89,3 ± 11,7 | 3,7 ± 0,8 | 0,04 | 2008 ± 1,1 |
| 6—8 (7) | 5,00 | 89,9 ± 10,3 | 24,9 ± 3,5 | 65,0 ± 10,9 | 3,6 ± 1,0 | 0,06 | 1998 ± 1,7 |
| 8—10 (9) | 6,26 | 87,2 ± 5,4 | 18,4 ± 2,8 | 68,8 ± 6,1 | 2,0 ± 0,6 | 0,03 | 1991 ± 2,0 |
| 10—12 (11) | 7,73 | 51,0 ± 3,9 | 22,3 ± 2,8 | 28,7 ± 4,8 | 1,0 ± 0,6 | 0,03 | 1980 ± 2,8 |
| 12—14 (13) | 9,32 | 53,6 ± 5,8 | 17,3 ± 2,4 | 36,3 ± 6,3 | < МДА ^{4*} | | 1973 ± 3,5 |
| 14—16 (15) | 11,00 | 43,3 ± 3,3 | 17,0 ± 2,2 | 26,3 ± 4,0 | < МДА ^{4*} | | 1960 ± 4,8 |
| 16—18 (17) | 13,00 | 31,6 ± 3,7 | 15,2 ± 1,9 | 16,4 ± 4,2 | 1,5 ± 0,7 | 0,09 | 1945 ± 7,5 |
| 18—20 (19) | 15,25 | 23,4 ± 3,5 | 15,2 ± 2,0 | 8,2 ± 4,0 | < МДА ^{4*} | | 1924 ± 12,9 |
| 20—22 (21) | 17,35 | 22,2 ± 4,1 | 15,9 ± 2,3 | 6,3 ± 4,7 | < МДА ^{4*} | | 1904 ± 20,5 |
| 22—24 (23) | 19,27 | 26,2 ± 4,6 | 21,6 ± 2,7 | 4,6 ± 5,3 | < МДА ^{4*} | | 1876 ± 36,9 |

^{1*} Календарная дата образования отдельного горизонта слоя, лет.

^{2*} Неопределенность календарной даты образования слоя, лет.

^{3*} Дата отбора колонки.

^{4*} Ниже минимально детектируемой активности.

отсутствует достоверно определяемая активность техногенного ^{137}Cs . В распределении $\Sigma^{210}\text{Pb}$ по профилям колонок прослеживается устойчивая тенденция снижения удельной активности радионуклида с глубиной. Это указывает на стабильность процессов осадконакопления и дает возможность провести датировку слоев донного осадка. По результатам расчета календарного возраста установлено, что вскрытые осадочные толщи в точках отбора начали формироваться в конце XIX в.

В колонке 1 (губа Ярнышная) радиоактивное равновесие между фоновым ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ установилось в слое 22—24 см. Рассчитанный возраст образования этого слоя составляет $135,5 \pm 23,5$ лет, а календарная дата образования — 1888 г. (см. табл. 1).

Первое обнаружение ^{137}Cs — на глубине 14—16 см. Образование этого слоя связано с началом испытаний атомного оружия на Новой Земле в 1949 г. и атмосферными выпадениями радиоактивных продуктов [21; 22]. Этим подтверждается возраст формирования данного слоя, отнесенный по ^{210}Pb к 1947 г. ± 9 лет.

Выше по профилю в слое 12—14 см отмечено резкое шестикратное увеличение удельной активности ^{137}Cs . Формирование слоя по количеству ^{210}Pb относится к 1959 г. ± 6,4 лет. С учетом погрешности хронологического расчета можно предположить,

что слой сформировался в период максимальных атмосферных выпадений ^{137}Cs после испытаний «царь-бомбы» на полигоне Новой Земли (в 1961 г.).

Следующая реперная точка в накоплении маркерного радионуклида ^{137}Cs отмечается в слое 10—12 см. Она относится к периоду после прекращения испытаний ядерного оружия (1963 г.) и снижения его удельной активности. По содержанию $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ возраст слоя исчисляется от 1974 ± 4 года.

Этап роста концентраций ^{137}Cs отмечается в слое 8—10 см и непрерывно продолжается до слоя 2—4 см. Начало роста вызвано поступлением радионуклида в губу из открытых районов моря. Свободный водообмен губы Ярнышной с морской акваторией предопределяет поступление в водоем атлантических вод, загрязненных сбросами завода «Селлафилд», и накопление ^{137}Cs в донных осадках в 1980-х годах [23]. По данным анализа $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, формирование слоя 8—10 см относится к 1980 ± 4 году. Окончание этапа роста отмечено в слое 2—4 см и датируется по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ 2016 ± 0,7 году. В 1990—1995 гг. с началом очистки радиоактивных сбросов в Великобритании содержание техногенных радионуклидов в водах Баренцева моря заметно снижалось. Однако в осадках, датированных 1991—2016 гг., отмечен рост удельной активности ^{137}Cs , видимо, под влиянием иных источников, например, связан-

ных с атомной инфраструктурой Кольского полуострова с прибрежными течениями и пресноводным стоком в губу.

Радиометрический анализ осадков в колонках 2 и 3, взятых в губе Зеленецкой (бухта Оскара) показал, что равновесие между фоновым ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ наступает в слое 36—38 см ($137,8 \pm 14$ лет) и слое 22—24 см ($147,7 \pm 37$ лет). Также в колонке 1 на хронологическую шкалу формирования донного осадка в губе Зеленецкой с хорошим соответствием накладываются исторические зафиксированные реперные даты изменений концентрации ^{137}Cs в баренцево-морском бассейне. Достоверно определяемые пики ^{137}Cs зафиксированы в слоях 14—16 и 12—14 см, сформированных соответственно в с 1980 по 1986 гг. и с 1986 по 1995 гг. К этому периоду относится суммарное загрязнение ^{137}Cs от трансокеанического переноса сбросов завода «Селлафилд» (1975—1980 гг.) и атмосферных выпадений в Евро-Арктике на морскую и наземную поверхность после аварии на Чернобыльской АЭС (апрель 1986 г.). Точность верификации подтверждают выделенные в таблице жирным шрифтом горизонты повышенного запаса ^{137}Cs , которые определяются как максимальное соотношение $^{137}\text{Cs}/^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и улучшают точность датировки по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ [23].

В радиоизотопном профиле колонки 3 первое обнаружение ^{137}Cs фиксируется в слое 16—18 см. Начало его формирования приурочено к «доядерной»

эпохе — 1924 г., а завершение формирования — к «ядерной» эпохе, 1945 г. \pm 7,5 года. Это не противоречит первым глобальным атмосферным выпадениям, как было отмечено в колонке 1. Период максимальной адвекции радиоактивности из Северной Атлантики в начале 1980-х годов [24] в осадках губы Зеленецкой отображен последовательным ростом содержания ^{137}Cs в слоях 10—12, 8—10 и 6—8 см колонки 3, датированных соответственно 1973 г. и позже (см. табл. 1), что соответствует периоду трансокеанического переноса сбросов завода «Селлафилд».

Таким образом, в губах разных морфологических типов возраст слоев, рассчитанный по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, подтверждается хронологически известными техногенными событиями в динамике накопления донным осадком удельной активности ^{137}Cs , а также соотношением ^{137}Cs и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ между собой. Незначительные различия профилей содержания ^{137}Cs в колонках морфологически разных участков дна бассейнов седиментации объясняются локальными особенностями гидродинамики, динамики накопления осадков в пределах впадин, различиями размерного и вещественного состава донного осадка.

Гранулометрический состав донных отложений

Результаты гранулометрического анализа осадочных слоев колонок 1—3 представлены в табл. 2.

Таблица 2. Гранулометрический состав вскрытой толщи донных отложений

Table 2. Granulometric composition of the exposed sediment strata

| Номер керна | Слой осадка, см | Органиче- ское веще- ство (ППП), % | Фракция, мм | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------------|-----|-------|----------|----------|----------|-----------|-------|
| | | | Гравий | | Песок | | | Алеврит | | Пелит |
| | | | > 2 | 2—1 | 1—0,5 | 0,5—0,25 | 0,25—0,1 | 0,1—0,05 | 0,05—0,01 | |
| 1 | 0—2 | 13,73 | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 2,4 | 11,4 | 20,0 | 20,0 | 44,2 |
| | 2—4 | 17,22 | 0,8 | 0,4 | 0,8 | 1,2 | 8,6 | 18,0 | 20,7 | 49,5 |
| | 4—6 | 9,17 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,9 | 9,6 | 21,4 | 19,9 | 47,6 |
| | 6—8 | 7,76 | 0,6 | 1,3 | 1,7 | 1,7 | 7,6 | 11,1 | 5,6 | 70,4 |
| | 8—10 | 4,37 | 0,2 | 0,2 | 0,2 | 0,5 | 6,8 | 19,3 | 20,2 | 52,6 |
| | 10—12 | 6,24 | 0,0 | 0,3 | 0,3 | 0,8 | 7,9 | 19,2 | 20,1 | 51,4 |
| | 12—14 | 3,91 | 0,4 | 0,4 | 0,9 | 1,3 | 9,8 | 19,4 | 15,4 | 52,4 |
| | 14—16 | 3,46 | 0,0 | 0,2 | 0,2 | 0,8 | 8,4 | 17,5 | 17,4 | 55,5 |
| | 16—18 | 3,30 | 0,2 | 0,3 | 0,6 | 0,6 | 6,7 | 11,5 | 8,6 | 71,5 |
| | 18—20 | 3,40 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 6,9 | 15,5 | 11,4 | 64,6 |
| | 20—22 | 3,42 | 8,5 | 0,2 | 0,2 | 0,6 | 6,7 | 13,8 | 11,5 | 58,5 |
| | 22—24 | 5,06 | 0,8 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 6,3 | 14,3 | 12,3 | 64,9 |
| | 24—26 | 3,66 | 0,8 | 0,1 | 0,5 | 0,9 | 9,2 | 17,3 | 13,6 | 57,6 |
| | 26—28 | 2,46 | 0,3 | 0,5 | 0,6 | 1,0 | 9,8 | 16,4 | 12,3 | 59,1 |

Продолжение табл. 2

| Номер керна | Слой осадка, см | Органиче- ское веще- ство (ППП), % | Фракция, мм | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------------|-----|-------|----------|----------|----------|-----------|--------|
| | | | Гравий | | Песок | | | Алеврит | | Пелит |
| | | | > 2 | 2—1 | 1—0,5 | 0,5—0,25 | 0,25—0,1 | 0,1—0,05 | 0,05—0,01 | < 0,01 |
| 2 | 0—2 | 4,36 | 3,9 | 2,3 | 4,2 | 3,6 | 19,8 | 19,2 | 2,6 | 44,4 |
| | 2—4 | 10,44 | 3,3 | 1,6 | 1,6 | 2,2 | 23,4 | 25,6 | 7,2 | 35,1 |
| | 4—6 | 22,74 | 2,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 13,6 | 22,6 | 7,3 | 48,7 |
| | 6—8 | 16,63 | 1,0 | 1,9 | 2,9 | 2,6 | 14,5 | 28,4 | 11,9 | 36,8 |
| | 8—10 | 29,26 | 0,5 | 1,1 | 1,9 | 2,4 | 16 | 25,6 | 11,6 | 40,9 |
| | 10—12 | 27,19 | 0,6 | 1,0 | 2,0 | 3,8 | 18,6 | 22,2 | 8,8 | 43,0 |
| | 12—14 | 19,05 | 1,6 | 1,6 | 3,6 | 6,0 | 18,5 | 17,6 | 5,2 | 45,9 |
| | 14—16 | 26,07 | 1,3 | 1,3 | 1,9 | 3,6 | 16,2 | 21,1 | 8,1 | 46,5 |
| | 16—18 | 17,15 | 0,9 | 0,9 | 2,0 | 3,3 | 14,6 | 18,8 | 7,6 | 51,9 |
| | 18—20 | 13,67 | 0,6 | 0,6 | 1,2 | 3,1 | 16,7 | 21,6 | 9,9 | 46,3 |
| | 20—22 | 23,13 | 0,2 | 1,0 | 1,5 | 2,2 | 11,3 | 15,8 | 12,1 | 55,9 |
| | 22—24 | 22,34 | 3,1 | 0,9 | 1,8 | 3,7 | 16,1 | 19,8 | 10,8 | 43,8 |
| | 24—26 | 25,15 | 1,5 | 1,1 | 1,7 | 3,9 | 15,9 | 19,4 | 7,2 | 49,3 |
| | 26—28 | 28,61 | 5,1 | 1,3 | 2,1 | 2,7 | 11,4 | 15,9 | 13,8 | 47,7 |
| | 28—30 | 19,04 | 0,0 | 0,7 | 1,1 | 1,8 | 13,1 | 19,7 | 13,3 | 50,3 |
| | 30—32 | 14,78 | 0,0 | 0,3 | 1,3 | 4,8 | 15,5 | 16,0 | 9,6 | 52,5 |
| | 32—34 | 23,32 | 0,4 | 1,3 | 1,9 | 2,5 | 13,3 | 22,1 | 15,8 | 42,7 |
| | 34—36 | 6,79 | 0,6 | 0,0 | 0,6 | 1,6 | 11,7 | 19,6 | 16,5 | 49,4 |
| | 36—38 | 8,63 | 0,0 | 0,1 | 0,4 | 1,2 | 9,0 | 12,8 | 6,8 | 69,7 |
| | 38—40 | 8,85 | 2,7 | 2,0 | 2,9 | 3,1 | 10,4 | 13,1 | 8,2 | 57,6 |
| | 40—42 | 2,93 | 3,1 | 2,2 | 1,5 | 1,6 | 7,5 | 10,3 | 5,9 | 67,9 |
| | 42—44 | 2,17 | 6,1 | 1,9 | 2,1 | 2,1 | 8,2 | 11,9 | 6,5 | 61,2 |
| 3 | 0—2 | 11,76 | 0,0 | 0,0 | 1,5 | 3,4 | 25,8 | 36,5 | 6,3 | 26,5 |
| | 2—4 | 13,66 | 0,5 | 0,5 | 2,4 | 3,7 | 26,5 | 35,8 | 6,3 | 24,3 |
| | 4—6 | 7,33 | 0,7 | 0,5 | 2,2 | 4,0 | 27,9 | 38,0 | 7,4 | 19,3 |
| | 6—8 | 5,88 | 0,0 | 0,7 | 1,8 | 2,6 | 20,5 | 35,9 | 9,5 | 29 |
| | 8—10 | 7,49 | 3,2 | 1,9 | 3,8 | 2,8 | 17,6 | 33,7 | 9,5 | 27,5 |
| | 10—12 | 4,15 | 1,3 | 2,4 | 6,3 | 5,8 | 22,8 | 33,0 | 6,5 | 21,9 |
| | 12—14 | 5,33 | 1,6 | 3,0 | 6,0 | 4,9 | 20,0 | 35,9 | 9,2 | 19,4 |
| | 14—16 | 7,01 | 3,4 | 3,1 | 6,0 | 5,3 | 22,4 | 34,7 | 8,4 | 16,7 |
| | 16—18 | 7,38 | 2,9 | 2,5 | 5,4 | 4,6 | 18,7 | 35,8 | 11,0 | 19,1 |
| | 18—20 | 6,75 | 8,8 | 2,6 | 5,5 | 4,9 | 18,1 | 32,9 | 10,5 | 16,7 |
| | 20—22 | 9,49 | 0,9 | 2,1 | 3,4 | 3,9 | 17,4 | 37,5 | 14,9 | 19,9 |

| Номер керна | Слой осадка, см | Органиче- ское веще- ство (ППП), % | Фракция, мм | | | | | | | |
|----------------|-----------------------|---|-------------|-----|-------|----------|----------|----------|-----------|--------|
| | | | Гравий | | Песок | | | Алеврит | | Пелит |
| | | | > 2 | 2—1 | 1—0,5 | 0,5—0,25 | 0,25—0,1 | 0,1—0,05 | 0,05—0,01 | < 0,01 |
| | 22—24 | 11,50 | 1,4 | 0,7 | 1,6 | 3,3 | 15,2 | 36,3 | 16,4 | 25,1 |
| | 24—26 | 6,04 | 14,4 | 1,2 | 2,7 | 3,0 | 11,2 | 28,6 | 12,2 | 26,7 |
| | 26—28 | 5,20 | 4,8 | 2,6 | 4,6 | 3,4 | 15,4 | 32,0 | 12,0 | 25,2 |
| | 28—30 | 4,74 | 1,9 | 2,7 | 5,7 | 4,8 | 17,5 | 31,1 | 9,2 | 27,1 |
| | 30—32 | 9,45 | 2,7 | 0,9 | 2,0 | 2,9 | 15,1 | 32,6 | 11,3 | 32,5 |
| | 32—34 | 19,16 | 18,9 | 1,5 | 3,5 | 3,1 | 13,0 | 29,9 | 11,2 | 18,9 |
| | 34—36 | 5,78 | 12,3 | 1,6 | 3,4 | 3,2 | 11,1 | 21,1 | 8,0 | 39,3 |
| | 36-38 | 18,36 | 3,8 | 0,8 | 2,7 | 4,0 | 17,3 | 40,7 | 13,9 | 16,8 |

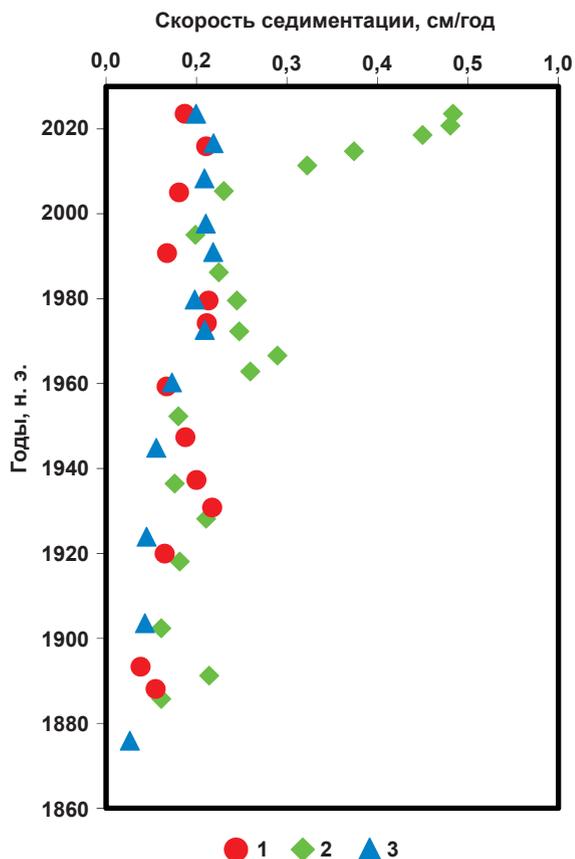


Рис. 2. Темпы накопления донных отложений: 1 – колонка 1, 2 – колонка 2, 3 – колонка 3
Fig. 2. Rate of accumulation of bottom sediments: 1 – core 1, 2 – core 2, 3 – core 3

В губе Ярнышной вскрытые донные отложения (колонка 1) сложены мелкодисперсным материалом, в основном пелитом. Доля пелита изменяется в пределах 42,5—71,3%, алеврита — 16,5—41,3%,

песка — 7,4—14,8%, доля более крупных фракций, как правило, незначительна за исключением редких случаев, когда в осадочном горизонте отмечаются включения дресвы до 1% (горизонт 20—22 см).

Осадки сублиторали бухты Оскара губы Зеленецкой (колонка 2) также представлены мелкодисперсным материалом, в основном пелитом. Доля пелита варьирует от 36,8% до 68,1%, алеврита — от 15,7% до 40,0%, песка — от 10,6% до 27,2%. Содержание фракции гравия возрастает в нижних горизонтах керна, но не превышает 7%.

Донные отложения впадины в губе Зеленецкой (колонка 3) представлены плохо сортированным материалом, в котором превалирует алеврит. Доля алевритовых фракций составляет 29,1—54,4%, фракций песка — 17,7—34,1%, пелитовых фракций — 15,5—31,3%. Доля гравийных фракций фрагментарно увеличивается в отдельных слоях осадка от 0 до 3—8%. Однако в нижних горизонтах 22—24, 32—36 см доля гравия резко возрастает до 14—20,4%.

Таким образом, характерной чертой осадконакопления в обеих губах является неравномерный рост доли гравийного материала в промежуточных слоях, сформированных на рубеже 1920-х годов, и в нижних горизонтах вскрытой толщи (старше 1870-х годов), вызванный общим для прибрежной зоны изменением условий седиментации в эти периоды.

Скорости седиментации

Полученные с помощью радиометрических измерений данные по накоплению $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ и ^{137}Cs в профилях колонок 1—3 позволили рассчитать скорости седиментации в изучаемых бассейнах в периоды формирования осадочных слоев (рис. 2).

В губе Ярнышной (колонка 1) в период с 1888 по 2023 гг. скорость седиментации, рассчитанная на основе полученных нами дат с помощью стандартных процедур модели CF [6], варьировала от 0,11 до 0,23 см/год при среднем значении за весь период $0,17 \pm 0,05$ см/год. Средняя скорость седиментации, рассчитанная для периода «ядерной» и «постъядерной» эпох за 77 лет от первого появления ^{137}Cs в осадках (слой 14—16 см, 1947 г.), составила $0,18 \pm 0,04$ см/год.

На сублиторали губы Зеленецкой (колонка 2) с 1886 по 2023 гг. темпы седиментации существенно варьировали от 0,12 до 0,77 см/год при среднем значении $0,34 \pm 0,21$ см/год. Увеличение темпов осадконакопления на литоральном склоне произошло после 2011 г. Предположительно основным фактором такого изменения являются склоновые процессы, подвижки верхних слоев отложений и нарушения их геохронологии. Косвенно об этом свидетельствует разрыв профиля концентрации ^{137}Cs в колонке. Причиной подвижек могли стать сейсмические события на прилегающем шельфе в 2010 и 2012 гг. [11].

В губе Зеленецкой (колонка 3) темпы седиментации, рассчитанные по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, с 1876 по 2023 гг. изменялись в пределах от 0,05 до 0,24 см/год при среднем значении $0,17 \pm 0,07$ см/год. Средняя скорость седиментации, рассчитанная от начала «ядерной» эпохи (14—16 см — 1945 г.) за 79 лет, составила $0,2 \pm 0,04$ см/год.

При короткопериодных флуктуациях средние темпы седиментации сохраняют относительное постоянство в течение указанного периода, в том числе в период «ядерной» и «постъядерной» эпох. Накопление отложений на склонах котловин характеризуется неустойчивостью, обусловленной, по видимому, склоновыми процессами.

Учитывая постоянство условий осадконакопления в акваториях исследуемых бассейнов, возраст слоев вскрытых донных отложений ниже слоя равновесия между фоновым ^{210}Pb и $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ можно рассчитать по средней скорости седиментации. На рис. 3 представлена хронология формирования литотипов донных отложений в колонках 1—3, где возраст нижних

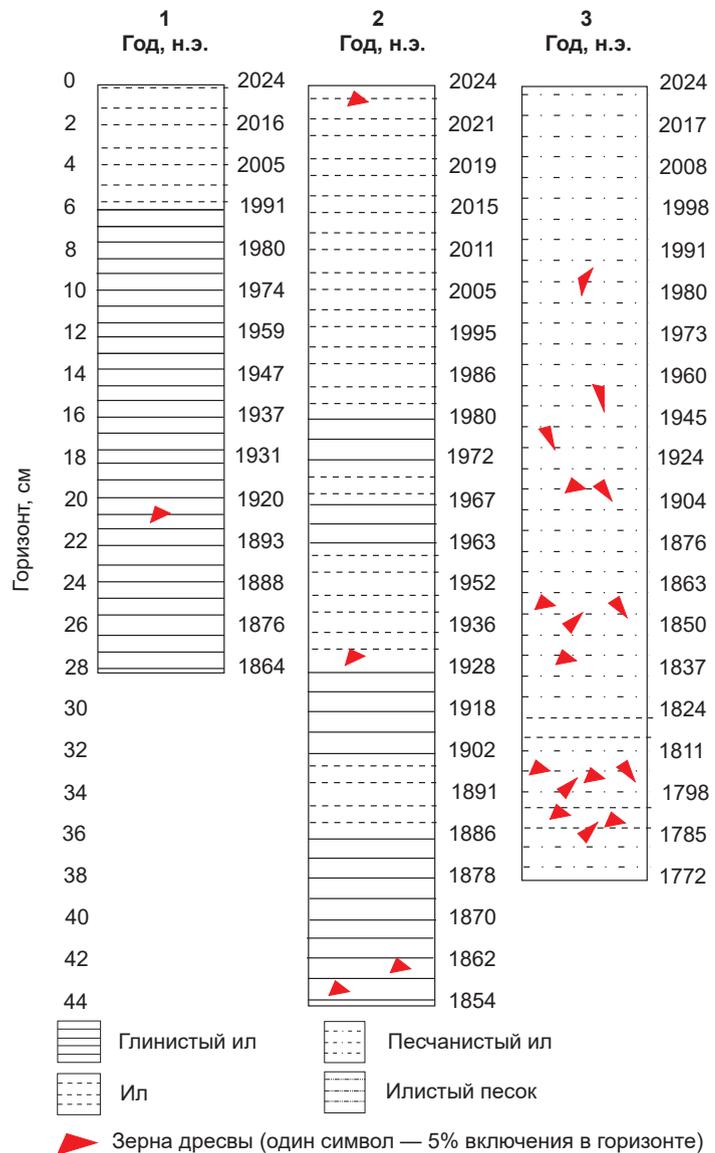


Рис. 3. Хронология формирования литотипов донных отложений в районе работ
Fig. 3. Chronology of the formation of lithotypes of bottom sediments in the work area

слоев донных отложений определен по средней скорости осадконакопления.

Литотипы донных отложений

Гранулометрический состав донных отложений позволил выделить три литотипа по вскрытым осадочным толщам колонок 1—3 (рис. 3).

Донные отложения губы Ярнышная (колонка 1) сложены двумя условными пачками — это ил и глинистый ил. Данное разделение носит формальный характер, так как различие между литотипами по основному критерию (содержанию пелита) незначительно. Однако следует отметить, что с 1864 по 1991 гг. накапливался глинистый ил, а с 1991 по 2023 гг. формировался более грубый литотип с преимуществом ила.

Донные отложения литорали бухты Оскара (колонка 2) включают в себя два литотипа — глинистый ил и ил, которые попеременно замещают друг друга с 1854 по 2023 гг. (см. рис. 3).

Отложения в котловине бухты Оскара (колонка 3) сложены более грубым материалом — песчанистым илом, который периодически перекрывался илом — в 1772, 1785—1798 и 1811—1824 гг.

Для донных отложений губ Ярнышная и Зеленецкая характерно наличие включений грубообломочного материала. В губе Ярнышная зерна плохо окатанного гравия (дресвы) встречаются в отложениях конца XIX — начала XX в. В осадочной толще сублиторали бухты Оскара дресва появляется во второй половине XIX — начале XX в., а также в наше время. В понижении рельефа дна губы Зеленецкой основное количество включений приходится на конец XVIII — начало XIX в., 50-е, 60-е годы XIX в. и первую половину XX в. Последнее обнаружение грубообломочного материала относится к 1980 г. Это явление приурочено к формированию обширных полей припайного льда в бассейне — основного агента ледового разноса [25]. Распределение включений дресвы по профилю датируемых слоев указывает на то, что в прибрежье Восточного Мурмана с конца XVIII в. по настоящее время роль ледового разноса в формировании литотипов донных отложений значительно сократилась. Обилие грубого обломочного материала в осадках губ открытого и закрытого типов определяется возможностью переноса припайных льдов из зоны суши во внутренние части бассейна.

Выводы

Обобщение полученных результатов позволило заключить, что для губы Ярнышная и бухты Оскара, относящихся по условиям седиментации к типичным краевым бассейнам Восточного Мурмана, характерно монотонное осадконакопление. Средняя скорость осадконакопления в колонках 1 и 3, определенная по $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ за весь период формирования вскрытой осадочной толщи составляла 0,15—0,17 см/год, варьируя в узком диапазоне значений около 0,1 см/год. Темпы седиментации на сублиторали бухты Оскара (колонка 2) имеют неустойчивый характер вследствие склоновых процессов. Полученные по данному керну результаты могут распространяться только на верхнюю сублитораль краевых бассейнов с углубленной котловиной.

В целом осадочная толща формируется относительно схожим по размерному составу терригенным материалом. Замещение литотипов происходит осадками смежного типа, в губе Ярнышной и на сублиторали бухты Оскара глинистым илом замещается ил, в то время как в котловине бухты Оскара илистый песок периодически замещается песчаным илом. В связи с наблюдаемым потеплением арктического региона вклад ледового разноса в формирование донного осадка в прибрежных гу-

бах в XXI в. существенно уменьшился по сравнению с XVIII, XIX и XX вв.

Финансирование

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (№ 22-17-00243) «Радиационная океанология и геоэкология прибрежного шельфа Баренцева и Белого морей. Биокосные взаимодействия в системе: донные отложения — вода — макроводоросли — микроорганизмы, их роль в ремедиации морской прибрежной экосистемы при радиационном и химическом загрязнении в условиях Арктики».

Благодарность

Авторы выражают глубокую признательность ведущему научному сотруднику лаборатории планктона Мурманского морского биологического института (ММБИ) РАН М. В. Митяеву за помощь в отборе проб, полезные советы и консультации при написании данной работы, а также благодарят заведующую лабораторией альгологии Г. М. Воскобойникову и директора ММБИ РАН М. В. Макарова за решение логистических задач по организации экспедиции в район работ.

Литература/References

1. Зенкович В. П. Типы берегов Атлантического, Северного Ледовитого и Индийского океанов // Морской атлас. — 1953. — Т. 2. — Л. 13.
Zenkovich V. P. Types of shores of the Atlantic, Arctic and Indian oceans. Marine Atlas, 1953, vol. 2, sheet 13. (In Russian).
2. Клёнова М. В. Геология Баренцева моря. — М.: Изд-во АН СССР, 1960. — 367 с.
Klenova M. V. Geology of the Barents Sea. Moscow, USSR Academy of Sciences, 1960, 367 p. (In Russian).
3. Тарасов Г. А. Верхнечетвертичный седиментогенез на шельфе Западно-Арктических морей: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минерал. наук / Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова. — М., 1998. — 46 с.
Tarasov G. A. Upper Quaternary Sedimentogenesis on the Shelf of Western Arctic Seas, Extended Abstracts of DSc. (Geol.-Miner.) Dissertation. Inst. Okeanol. RAS. Moscow, 1998, 46 p. (In Russian).
4. Митяев М. В., Герасимова М. В., Бергер В. Я. Взвесь и вертикальные потоки осадочного вещества в заливах Мурманского берега Баренцева моря и Карельского берега Белого моря // Океанология. — 2017. — Т. 57, № 2. — С. 339—347. — DOI: 10.7868/S0030157416060113.
Mityaev M. V., Gerasimova M. V., Berger V. J. Suspended particulate matter and vertical fluxes of sedimentary material in bays of the Murmansk (Barents Sea) and Karelian (White Sea) coasts. Oceanology, 2017, vol. 57, no. 2, pp. 306—314. DOI: 10.1134/S0001437016060102.
5. Aliev R. A., Bobrov V. A., Kalmykov S. N., Melgunov M. S., Vlasova I. E., Shevchenko V. P. Natural and

- artificial radionuclides as a tool for sedimentation studies in the Arctic region. *J. Radioanal. Nucl. Chem.*, 2007, vol. 274, no. 2, pp. 315—321. DOI: 10.1007/s10967-007-1117-x.
6. 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, pp. 183—200. DOI: 10.1016/j.gca.2010.12.024.
7. Русаков В. Ю., Борисов А. П., Соловьева Г. Ю. Скорости седиментации (по данным изотопного анализа ^{210}Pb и ^{137}Cs) в разных фашиально-генетических типах донных осадков Карского моря // *Геохимия*. — 2019. — Т. 64, № 11. — С. 1158—1174. — URL: <https://doi.org/10.31857/S0016-752564111158-1174>.
- Rusakov V. Yu., 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, no. 11, pp. 1185—1200. DOI: 10.1134/S0016702919110077.
8. Матишов Г. Г., Ильин Г. В., Усягина И. С. и др. Радиоэкологическое состояние прибрежной зоны Кольского полуострова (по данным наблюдений в 2013—2020 годах) // *Метеорология и гидрология*. — 2023. — № 4. — С. 99—110. — DOI: 10.52002/01-2906-2023-4-99-110.
- Matishov G. G., Il'in G. V., Usyagina I. S., Moiseev D. V., Valuiskaya D. A. Radioecological Condition of the Kola Peninsula Coastal Zone According to Observations in 2013—2020. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2023, vol. 48, no. 4, pp. 361—369. Available at: <https://doi.org/10.3103/S106837392304009X>.
9. Матишов Г. Г., Матишов Д. Г., Намятов А. А., Керролл Дж., Далл С. Геохронологические исследования поступления искусственных радионуклидов в донные осадки прибрежных вод Баренцева моря. Тезисы докладов IV съезда по радиационным исследованиям (радиобиология, радиоэкология, радиационная безопасность). Москва, 20—24 ноября 2001 г. — М.: Изд-во РУДН, 2001. — Т. 2. — С. 171—179.
- Matishov G. G., Matishov D. G., Namyatov A. A. et al. Geochronological investigations of the flow of artificial radionuclides into the bottom deposits in the coastal waters of the Barents Sea. *Abstr. 4th Conf. on Radiation Studies (radiobiology, radioecology, radiation safety)*, Moscow, Nov. 20—24, 2001. Moscow, 2001, vol. 2, pp. 171—179. (In Russian).
10. Ильин Г. В., Касаткина Н. Е., Моисеев Д. В., Усягина И. С. Объекты инфраструктуры атомного флота как источник радиоактивного загрязнения Баренцева моря (на примере хранилища отходов в губе Андреева) // *Атом. энергия*. — 2017. — Т. 122, № 2. — С. 108—114.
- Il'in G. V., Kasatkina N. E., Moiseev D. V., Usyagina I. S. Infrastructure Objects of the Nuclear Fleet as Sources of Radioactive Contamination of the Barents Sea: Waste Repository in Guba Andreeva. *Atomic Energy*, 2017, vol. 122, pp. 131—137. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10512-017-0247-7>.
11. Митяев М. В. Мурманское побережье (геолого-геоморфологические и климатические особенности, современные геологические процессы). — Апатиты: КНЦ РАН, 2014. — 226 с.
- Mityaev M. V. Murman Coast (geological, geomorphological, and climatic features, current geological processes). *Apatity*, KSC RAS, 2014, 226 p. (In Russian).
12. Тарасов Г. А., Погодина И. А., Хасанкаев В. Б. и др. Процессы седиментации на гляциальных шельфах. — Апатиты: КНЦ РАН, 2000. — 473 с.
- Tarasov G. A., Pogodina I. A., Khasankaev V. B., Kukina N. A., Mityaev M. V. Sedimentation processes on glacial shelves. *Apatity*, KSC RAS, 2000, 473 p. (In Russian).
13. Кнйповитш Н. Hydrologische Untersuchungen im Europäischen Eismeer. *Annalen der Hydrographie und Maritimen Meteorologie*, 1905, vol. 33, pp. 241—260.
14. Митяев М. В., Герасимова М. В., Дружкова Е. И. Вертикальные потоки осадочного вещества в губе Дальнезеленецкая (Мурманское побережье Баренцева моря) и губе Чупа (Карельское побережье Белого моря) // *Океанология*. — 2012. — Т. 52, № 1. — С. 121—130.
- 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, no. 1, pp. 112—121. DOI: 10.1134/S0001437012010158.
15. Ильин Г. В., Моисеев Д. В., Широколов Д. В. и др. Гидрологический режим губы Зеленецкая, Восточный Мурман // *Вестн. МГТУ*. — 2016. — Т. 19, № 1—2. — С. 268—277. — DOI: 10.21443/1560-9278-2016-1/2-268-277.
- Il'in G. V., Moiseev D. V., Shirokolobov D. V., Deryabin A. A., Pavlova L. G. Long-term dynamics of hydrological conditions of the Zelenetskaya Bay, East Murman. *Vestnik MGTU*, 2016, vol. 19, no. 1—2, pp. 268—277. Available at: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2016-1/2-268-277>. (In Russian).
16. Appleby P. G., Piliposian G. T. Efficiency corrections for variable sample height in well-type germanium gamma detectors. *Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. B Beam Interact. Mater. At.*, 2004, vol. 225, no. 3, pp. 423—433. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.nimb.2004.05.020>.
17. Appleby P. G. ^{210}Pb dating by low-background gamma. *Hydrobiologia*, 1986, vol. 43, pp. 21—27. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00026640>.
18. Schelske C. L., Peplow A., Brenner M., Spencer C. N. Low-background gamma counting: applications for ^{210}Pb dating of sediments. *J. Paleolimnol.*, 1994, vol. 10, pp. 115—128. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/BF00682508>.
19. Андреева И. А., Лапина Н. Н. Методика гранулометрического анализа донных осадков Мирового океана и геологическая интерпретация результатов

- лабораторного изучения вещественного состава осадков. — СПб.: ВНИИОкеангеология, 1998. — 45 с.
- Andreeva I. A., Lapina N. N. Methods of granulometric analysis of bottom sediments of the World Ocean and geological interpretation of the results of laboratory study of the material composition of sediments. St. Petersburg, VNIIOkeangeologiya, 1998, 45 p. (In Russian).
20. Даувальтер В. А. Геоэкология донных отложений озер. — Мурманск: Изд-во МГТУ, 2012. — 242 с.
- Dauvalter V. A. Bottom sediments geoeology of lakes. Murmansk, Murmansk State Technical Univ., 2012, 242 p. (In Russian).
21. Сивинцев Ю. В., Вакуловский С. М., Васильев А. П. и др. Техногенные радионуклиды в морях, омывающих Россию. — М., ИздАТ, 2005. — 624 с.
- Sivintsev Yu. V., Vakulovsky S. M., Vasiliev A. P. et al. Technogenic Radionuclides in the Seas Surrounding Russia. Moscow, IzdAT, 2005, 624 p. (In Russian).
22. Bergqvist N.-O., Ferm R. Nuclear Explosions 1945—1998 (FOA-R-00-01572-180). Stockholm, Sweden, Defence Research Establishment, 2000, 43 p.
23. 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, pp. 107387. Available at: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2024.107387>.
24. 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, pp. 49—69.
25. Лисицын А. П. Новый тип седиментогенеза в Арктике — ледовый морской, новые подходы к исследованию процессов // Геология и геофизика. — 2010. — Т. 51, № 1. — С. 18—60.
- Lisitzin A. P. Marine ice-rafting as a new type of sedimentogenesis in the arctic and novel approaches to studying sedimentary processes. Russian Geology and Geophysics, 2010, vol. 51, no. 1, pp. 12—47. DOI: 10.1016/j.rgg.2009.12.002.

Информация об авторах

Мещеряков Никита Игоревич, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Мурманский морской биологический институт РАН (183038, Россия, Мурманск, Владимирская ул., 17), e-mail: meshcheriakov104@mail.ru.

Усягина Ирина Сергеевна, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, Мурманский морской биологический институт РАН (183038, Россия, Мурманск, Владимирская ул., 17), e-mail: usjagina@mmbi.info.

Ильин Геннадий Васильевич, кандидат географических наук, заведующий лабораторией, Мурманский морской биологический институт РАН (183038, Россия, Мурманск, Владимирская ул., 17), e-mail: ilyin@mmbi.info.

Иванова Наталья Сергеевна, стажер-исследователь, Мурманский морской биологический институт РАН (183038, Россия, Мурманск, Владимирская ул., 17), e-mail: ivanova_ns@mmbi.info.

DATING OF THE RECENT SEDIMENTARY STRATA OF THE MARGINAL BASINS OF EASTERN MURMAN (KOLA PENINSULA) USING THE EXAMPLE OF YARNYSHNAYA AND ZELENETSKAYA BAYS

Mescheriakov, N. I., Usyagina, I. S., Ilyin, G. V., Ivanova N. S.

Murmansk Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (Murmansk, Russian Federation)

The article was received on March 16, 2024

For citing

Mescheriakov N. I., Usyagina I. S., Ilyin G. V., Ivanova N. S. Dating of the recent sedimentary strata of the marginal basins of Eastern Murman (Kola Peninsula) using the example of Yarnyshnaya and Zelenetskaya Bays. Arctic: Ecology and Economy, 2024, vol. 14, no. 3, pp. 393—405. DOI: 10.25283/2223-4594-2024-3-393-405. (In Russian).

Abstract

The authors have studied sediment genesis in the Kola Peninsula bays, the most popular and developed part of the coastal shelf by the population. The main tool used is the method of radioisotope chronology of sedimentary layers based on changes in the specific activity of the natural isotope ^{210}Pb and technogenic ^{137}Cs . It has been revealed that the marginal basins of Murman are characterized by monotonous sedimentation in recent centuries. The average sedimentation rate is 0.15—0.17 cm/year. The sedimentary sequence is composed of silty-pelitic material. It has been established that the role of ice rafting in the formation of bottom sediment in coastal bays has decreased over the past centuries.

Keywords: radionuclides, sedimentation chronology, lithotypes, Kola Peninsula, coastal area.

Funding

The Russian Science Foundation grant supported the study (project no. 22-17-00243 “Radiation oceanology and geocology of the coastal shelf of the Barents and White Seas. Bioinert interactions in the system: bottom sediments — water — macroalgae — microorganisms, their role in the remediation of the marine coastal ecosystem under radiation and chemical pollution in the Arctic”).

Acknowledgements

The authors express their deep gratitude to the Leading Researcher of the Plankton Laboratory of the MMBI RAS, M. V. Mityaev for assistance in sampling, useful advice and advice in writing this work, and also thank the Head of the Laboratory of Algology, G. M. Voskoboinikov and Director of the MMBI RAS M. V. Makarov for solving the logistical problems for organizing an expedition to the work area.

Information about the authors

Meshcheriakov, Nikita Igorevich, PhD of Geographical Sciences, Senior Researcher, Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (17, Vladimirskaia St., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: meshcheriakov104@mail.ru.

Usyagina, Irina Sergeevna, PhD of Geographical Sciences, Leading Researcher, Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (17, Vladimirskaia St., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: usyagina@mmbi.info.

Ilyin, Gennady Vasilievich, PhD of Geographical Sciences, Head of the Laboratory, Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (17, Vladimirskaia St., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: ilyin@mmbi.info.

Ivanova, Natalia Sergeevna, Research Intern, Marine Biological Institute of the Russian Academy of Sciences (17, Vladimirskaia St., Murmansk, Russia, 183038), e-mail: ivanova_ns@mmbi.info.

© Mescheriakov N. I., Usyagina I. S., Ilyin G. V., Ivanova N. S., 2024