

## ОПЫТ $^{210}\text{Pb}$ и $^{137}\text{Cs}$ ДАТИРОВАНИЯ ОТРИЦАТЕЛЬНЫХ ФОРМ МИКРОРЕЛЬЕФА БАРЕНЦЕВО-КАРСКОГО ШЕЛЬФА: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

<sup>1,2</sup>Мещеряков Н.И., <sup>1</sup>Усягина И.С., <sup>2,3</sup>Архинов В.В., <sup>2,3</sup>Мазнев С.В., <sup>4</sup>Слуковский З.И.,  
<sup>2</sup>Сухих Е.А., <sup>2,3</sup>Кокин О.В.

<sup>1</sup>Мурманский морской биологический институт РАН, Мурманск, Россия

<sup>2</sup>Геологический институт РАН, Москва, Россия

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

<sup>4</sup>Институт проблем промышленной экологии Севера РАН, Апатиты, Россия

Представлен опыт  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  датирования отрицательных форм микрорельефа шельфовых морей, включающий в себя следующие методические аспекты: описание пробоотбора, орудий отбора проб, первичную полевую обработку и рекомендации по подготовке полученного материала к хронологическому анализу. В работе описаны преимущества и недостатки различных орудий отбора проб и подходы при оценке возраста форм рельефа  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$  методами.

Ключевые слова: колонки донных отложений, седиментация, скорость осадконакопления, отбор проб, возраст, борозды выпахивания, плу-марки

В последние годы коллектив авторов принимает участие в изучении ледово-экзарационного рельефа Баренцево-Карского шельфа, который представлен бороздами выпахивания (или плуг-марками), сформировавшимися в результате контакта дрейфующих ледяных образований и айсбергов с морским дном [Мещеряков и др., 2022]. Одна из задач данной работы – оценка возраста борозд выпахивания, являющихся отрицательными формами микрорельефа морского дна, с помощью измерения содержания «избыточного»  $^{210}\text{Pb}$  и антропогенного  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках, что широко используются для оценки скоростей современной седиментации в морях Арктики [Aliev et al., 2007; Zaborska et al., 2008; Stepanets et al., 2010; Русаков и др., 2019; Meshcheryakov et al., 2021].

Применение данных методов для датирования форм микрорельефа морского дна проводится впервые. Недостатком используемых методов является ограничение определяемого возраста: в пределах 100-120 л.н. для «избыточного»  $^{210}\text{Pb}$  и 50-60 л.н. – для антропогенного  $^{137}\text{Cs}$ . Однако даже такая незначительная «глубина» ретроспективного анализа дает возможность разделить борозды выпахивания по возрасту и соотнести их с климатическими условиями, при которых они сформировались. Кроме того, сама по себе такая информация позволит дополнить знания о седиментации на арктическом шельфе в последнем столетии.

В настоящем докладе на полученном авторами опыте отбора и анализа проб уточнена методика определения времени заполнения осадочным материалом экзарационных борозд. Полученный результат является апробацией пригодности выбранной методики.

Проведение подобных работ сопряжено с рядом трудностей. При свободном дрейфе судна провести пробоотбор точно из борозды шириной первые десятки метров проблематично, при этом с увеличением глубины ухудшается точность пробоотбора. Поэтому необходимым условием перед пробоотбором является комплексная геофизическая съемка дна (многолучевой эхолот или гидролокатор бокового обзора, акустический профилограф), которая дает информацию о морфометрических параметрах и конфигурации борозды. Затем определяется галс под углом к борозде, т.к. линия пересечения в таком случае будет больше, чем при движении по нормали к борозде. Ширина борозды в данном месте желательно должна быть близка или сопоставима с глубиной моря.

Для подтверждения репрезентативности отобранного из борозды материала, необходим контрольный отбор пробы с «фоновой поверхности» в непосредственной близости к борозде, но за её пределами на открытой поверхности дна. Несмотря на то, что точки отбора проб располагаются на удалении нескольких десятков метров друг от друга, условия осадконакопления в отрицательных формах рельефа дна и при плоскостной седиментации существенно отличаются. При правильном пробоотборе эта разница хорошо заметна при определении «избыточного»  $^{210}\text{Pb}$ . Основные отличия – это темпы седиментации и гранулометрический состав (при наличии существенного гидродинамического воздействия на формирование донных осадков в данном участке бассейна).

На этапе планирования точек отбора проб рекомендуется уточнить предполагаемые скорости седиментации, характерные для района работ. Данный аспект крайне важен при выборе орудия отбора проб. Для осадков, накапливающихся со скоростью до 0,1 см/год, для получения репрезентативных данных по возрасту достаточно вскрыть осадочную толщу мощностью 14 см. С данной задачей легко могут справиться пробоотборник коробчатый (бокс-коррер) или дночерпатели Ван-Вина и Экмана-Берджа. Подобные орудия пробоотбора как правило не нарушают стратиграфию вскрытой осадочной толщи, а также позволяют отобрать достаточное количество материала для хронологического и гранулометрического анализа по горизонтам (Рис. 1). Недостатком этого орудия отбора проб является незначительная мощность вскрываемой осадочной толщи.



Рис. 1. Орудия отбора проб: А – дночерпатель Ван-Вина; Б – бокс-коррер

При значении скорости современной седиментации более 0,1 см/год, но менее 0,5 см/год, рекомендуется использовать трубку ГОИН-2.0 (Рис. 2). Орудие отбора проб представляет собой стальную трубу, внутри которой находится вкладыш (диаметр 4 см), состоящий из двух частей. Вкладыш удерживается в трубе наконечником, навинченным на нижний конец трубы. Наконечник имеет острую кромку для врезания в грунт. Вес трубки ГОИН 2.0 – 20-25 кг, что упрощает эксплуатацию оборудования. Для пробоотбора с борта судна не требуется сверхмощная морская лебедка, в ряде случаев оборудованием можно работать с борта лодки ПВХ без лебедки. По нашему опыту данное орудие отбора проб способно вскрывать до 60 см донных отложений (в зависимости от плотности осадков) практически полностью сохраняя стратиграфию осадка. Исключение – верхний (часто обводненный) слой до 2 см, который частично нарушается. Недостаток данного орудия отбора проб – это количество отбираемого материала. Как правило, отбирается колонка донных отложений диаметром 4 см. Этого недостаточно, чтобы отобрать пробы на несколько параметров сразу (хронология, гранулометрия), из-за этого протоотбор трубкой ГОИН приходится повторять для каждого параметра отдельно. Это сопряжено с

потерей ценного экспедиционного времени в связи с необходимостью выхода судна на заданную координату перед каждым пробоотбором.



Рис. 2. Трубка ГОИН 2.0

При значении скорости седиментации более 0,5 см/год необходимо использовать ударную гравитационную трубку УГТ-147 (Рис. 3). Данное орудие отбора проб позволяет получать колонки донных осадков длиной до 3-8 м и диаметром 138 мм. Максимальный вес УГТ-147 составляет 1100 кг. При данных работах использовалась УГТ-147 с рабочей длиной колонковой трубы 5 м и длиной оголовья 1 м с шестью грузами весом 80 кг каждый, общая масса УГТ-147 составляла 650 кг в снаряженном состоянии.

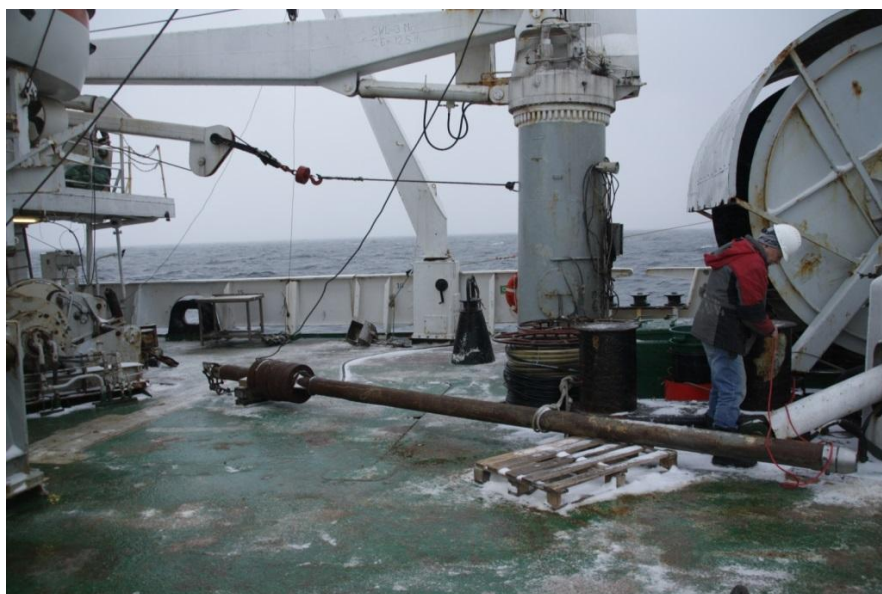


Рис. 3. Ударная гравитационная трубка УГТ-147

Диаметр трубки позволяет отбирать достаточное количество материала для хронологического и гранулометрического анализа по горизонтам. Однако верхние слои

донных отложений подвергаются деформации при пробоотборе, что может нарушать стратиграфию керн. Для работы с подобным орудием отбора проб требуется специальное оборудованный борт судна и мощная морская лебедка.

Таким образом, при отборе проб донных отложений необходим предварительный анализ седиментогенеза в предстоящем районе работ. Наличие данных по темпам седиментации в районе намеченных станций способны существенно рационализировать пробоотбор и анализ полученного материала. Под определенную скорость седиментации рекомендуется подбирать специальное орудие отбора проб. Это позволит более точно определить календарный возраст осадка.

Полученный керн донных отложений рекомендуется разделять на горизонты, которые впоследствии будут проанализированы на возраст и гранулометрический состав. При этом дискретность выбирается согласно скорости осадконакопления. Разделение на горизонты лучше проводить непосредственно в полевых условиях. Каждый осадочный горизонт должен быть помещен в герметичный контейнер и доставлен на берег для дальнейшего анализа. Если отсутствует возможность проведения первичной обработки керн в полевых условиях, то допускается его заморозка в горизонтальном положении без нарушения стратиграфии.

При скорости седиментации до 0,1 см/год рекомендуется разделять керн на горизонты мощностью 1 см, при значении скорости седиментации 0,1-0,2 см/год – 1-2 см, при значении 0,2-0,5 см/год – разделять на слои 2-5 см. Таким образом, следует стремиться, что бы возраст каждого горизонта не превышал 10 лет. Подобный подход отражает более точную картину седиментации и упрощает верификацию хронологических данных получаемых по  $^{210}\text{Pb}$  с данными получаемыми по  $^{137}\text{Cs}$ .

В случае, если цель работы заключается только в определении возраста нижнего слоя и не предполагает получения подробных данных об особенностях седиментации в течение последних десятилетий, то целесообразно увеличить шаг разделения керн на горизонты для снижения затрат на анализ.

Предлагаемый метод может быть использован для прямого датирования относительно молодых борозд (возраст образования менее 120 лет) и грубой оценки возраста более древних борозд (в т.ч. реликтовых и погребенных) путем экстраполяции скорости осадконакопления в течение последних 100 лет. Массовое датирование отдельных форм рельефа ограничено высокими затратами метода при пробоотборе и проведении измерений  $^{210}\text{Pb}$ . Рекомендацией к снижению затрат на анализ будет проведение измерения общего  $^{210}\text{Pb}$  и равновесного  $^{226}\text{Ra}$  в первую очередь с нижних горизонтов керн, чтобы найти равновесный слой (удельная активность «избыточного»  $^{210}\text{Pb}$  стремится к нулю) и нижнюю границу периода формирования экзарационной борозы. Измерения верхних слоев в разделенных слоях осадка можно проводить до тех пор, пока не снизится до минимально детектируемых значений удельная активность антропогенного  $^{137}\text{Cs}$  по которой проводится верификация возраста с методом по  $^{210}\text{Pb}$ . Поэтому в первую очередь необходим сбор минимальной статистики о скорости осадконакопления в бороздах выпаживания с различными параметрами (глубина моря, глубина пропашки и мощность заполнения осадками).

Работа выполнена на основе материалов рейсов, проведенных в разные годы в рамках гранта Российского научного фонда (проект №21-77-20038) и темы государственного задания ММБИ РАН.

## ЛИТЕРАТУРА

*Мещеряков Н.И., Усягина И.С., Архипов В.В., Мазнев, С.В., Кокин О. В.* Первые результаты определения абсолютного возраста ледово-экзарационной борозды в районе Байдарацкой губы Карского моря // Вторая всероссийская научная конференция “Геохронология четвертичного периода: инструментальные методы датирования новейших отложений”, 2022. С. 56.

Русаков В.Ю., Борисов А.П., Соловьев Г.Ю. Скорости седиментации (по данным изотопного анализа  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ ) в разных фациально-генетических типах донных осадков Карского моря // Геохимия. 2019. Т. 64. № 11. С. 1158–1174. doi: 10.31857/S0016-752564111158-1174

Aliev R.A., Bobrov V.A., Kalmykov S.N., Melgunov M.S., Vlasova I.E., Shevchenko V.P., 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

Meshcheryakov N.I., Usyagina I.S., Sharin V.V., Dauvalter V.A., Dukhno G.N. Chronology of sedimentation in Colesbukta, Spitsbergen (Svalbard Archipelago): the results of the 2018 expedition // IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science. 2021. Vol. 937. 042081 doi: 10.1088/1755-1315/937/4/042081

Stepanets O.V., Borisov A.P., Travkina A.V., Soloveva G.Y., Vladimirov M.V., Aliev R.A. Application of the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  radionuclides in the geochronology of modern sediments at the storage sites of solid radioactive wastes in the Arctic Basin // Geochemistry International. 2010. Vol. 48. Is. 4. P. 398–402. doi: 10.1134/S0016702910040087

Zaborska A., Carroll J., Papucci C., Torricelli L., Carroll M. L., Walkusz-Miotk J., 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

## EXPERIENCE OF $^{210}\text{PB}$ AND $^{137}\text{CS}$ DATING OF NEGATIVE MICRO LANDFORMS OF THE BARENTS-KARA SHELF: METHODOLOGICAL ASPECTS

<sup>1,2</sup>Meshcheriakov N.I., <sup>1</sup>Usyagina I.S., <sup>2,3</sup>Arhipov V.V., <sup>2,3</sup>Maznev S.V., <sup>4</sup>Slukovskii Z.I., <sup>2</sup>Sukhikh E.A., <sup>2,3</sup>Kokin O.V.

<sup>1</sup>Murmansk Marine Biological Institute of the RAS, Murmansk, Russia

<sup>2</sup>Geological Institute of the RAS, Moscow, Russia,

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

<sup>4</sup>Institute of North Industrial Ecology Problems, Kola Science Center of the RAS, Apatity, Russia

A methodical approach to the selection, analysis and determination of the age of samples of modern bottom sediments in the Barents and Kara Seas is presented. The methodology includes a description of sampling, sampling tools, primary field processing and recommendations for preparing the obtained material for chronological analysis. The paper describes the advantages and disadvantages of certain methods and approaches to the study of a number of sedimentation basins with their characteristic conditions.

Keywords: *bottom sediment cores, sedimentation, sedimentation rate, sampling, age, ice scours, ploughmarks*