doi:10.24412/2687-1092-2021-8-258-263

ДАТИРОВАНИЕ КОЛОНОК ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕРА БРЕТЪЁРНА (АРХИПЕЛАГ ШПИЦБЕРГЕН) ПО ^{210}Pb МЕТОДОМ ГАММА-СПЕКТРОМЕТРНИИ

Усягина И.С., Мещеряков Н.И., Касаткина Н.Е.

ФГБУН «ММБИ», Мурманск, Россия; usjagina@mmbi.info

Представлены результаты исследований кернов донных отложений, отобранных в озере Бретьёрна, архипелаг Западный Шпицберген в 2017 г. Проанализировано 3 колонки донных отложений мощностью до 70 см. Определены возрасты осадочных горизонтов по ^{210}Pb, результаты верифицировали по маркеру антропогенного загрязнения - ^{137}Cs.

Ключевые слова: *колонки донных отложений, радионуклиды, озеро Бретьёрна, Шпицберген*

Природный радионуклид ^{210}Pb, период полураспада ($T_{1/2}$) 22.3 г., является членом цепи распада ^{226}Ra ($T_{1/2}$ =1600 лет), который образуется при последовательном распаде материнского изотопа ^{238}U ($T_{1/2}$=4.5·10^{9} лет): ^{226}Ra (1600 лет) → ^{222}Rn (3,8 сут.) → ^{218}Po (3,1 мин) → ^{214}Pb (27 мин) → ^{214}Bi (20 мин) → ^{214}Po (1.6·10^{-4} с) → ^{210}Pb (22,3 г.). В донных отложениях ^{210}Pb состоит из равновесного ^{210}Pb, который непрерывно образуется и предположительно находится в вековом равновесии со своим исходным радионуклидом ^{226}Ra, и неравновесного (избыточного) ^{210}Pb, поступающего на поверхность водных объектов и окружающую их водосборную площадь и, как следствие, в донные отложения в результате атмосферного осаждения. Неравновесный ^{210}Pb определяют путем вычитания из общей активности ^{210}Pb равновесной активности по измеренному ^{226}Ra и использует для определения возраста осадков в бассейне седиментации. Однако по сравнению с другими изотопами, используемыми для геохронологии, например, ^{14}C, ($T_{1/2}$=5730 лет), неравновесный ^{210}Pb может использоваться для определения возраста только недавних отложений, сформировавшихся в течение последних 100-120 лет [*Robbins et al., 1978; Von Gunten and Moser, 1993*].

Впервые радиоактивный распад неравновесного ^{210}Pb был использован Goldberg [*1963*] для датировки льда с ледника. Впоследствии Krishnaswamy et al. [*1971*] усовершенствовали этот метод и применили его к озерным отложениям. В течение следующих нескольких лет по мере изучения содержания ^{210}Pb в большом количестве профилей отложений были разработаны различные эмпирические модели с общими предположениями о скорости осаждения и других процессах, которые влияют на поведение ^{210}Pb в окружающей среде. В настоящее время интерес к геохронологии отложений с использованием ^{210}Pb не уменьшился. Современное описание неравновесного ^{210}Pb, используемого в качестве индикатора состояния окружающей среды и тестирование моделей его определения широко освещено в литературе [*Kirchner, 2011; Pittauerova et al., 2011; Sanchez-Cabeza and Ruiz-Fernandez, 2012 Mabit et al., 2014*]. Эти многочисленные исследования показывают, что, с одной стороны, датирование ^{210}Pb является относительно простым методом, но, с другой стороны, оно часто связано с определенными допущениями, ограничениями и проблемами, касающимися применимости моделей, анализа данных и, следовательно, интерпретации результатов.

В природе редки случаи, когда наблюдается идеальное экспоненциальное уменьшение общей удельной активности ^{210}Pb с глубиной, только при условии, если поток неравновесного ^{210}Pb на поверхность осадка постоянен и нет процессов, приводящих к его смешиванию или перераспределению [*Sanchez-Cabeza, Ruiz-Fernandez, 2012*]. Часто эти условия не выполняются и в вертикальных профилях отложений можно обнаружить значительные колебания содержания ^{210}Pb. Чтобы избежать сомнительных или неточных интерпретаций профилей ^{210}Pb хронология ^{210}Pb всегда должна подтверждаться независимыми временными маркерами (например, ^{137}Cs) или любыми другими доступными геохимическими индикаторами [*Sanchez-Cabeza and Ruiz-Fernandez, 2012*].

В настоящей статье исследованы колонки донных отложений ледникового озера Бретъёрна. Обсуждена хронология осадконакопления в разных частях озера с помощью метода датирования современных осадков по неравновесному $^{210}Pb_{ex}$ [*Сапожников и др., 2020*].

Исследованный водоем - озеро Бретъёрна, был сформирован около 700 лет назад в результате экзарационной деятельности ледника Гренфьорд и заполнения котловины талыми водами. Современный вид озеро приобрело около 80 лет назад. Площадь водного его зеркала составляет 1,52 км^2, объём – 17,5млн м^3, максимальная глубина – 24 м [*Кокин, Кириллова, 2017*]. Озеро проточное. Из водоема вытекает река Бретъёрна. Сток регулируется в основном поступлением ледниковых талых вод. В современных климатических условиях ледник Грёнфьорд деградирует. Со времени последней аэрофотосъёмки в 1936 г. фронт ледника отступил на расстояние 2,5-3 км [*Чернов, Муравьев, 2018*]. Начало формирования донных отложений озера приходится на 1940-е – 1960-е гг, этот период был максимальным по потоку атмосферных выпадений радионуклидов [*Матишов и др., 2011*].

Материал для исследования отбирали во второй половине марта 2017 г., что соответствовало окончанию зимы. Толщина льда на озере составляла 1,7 м. Изучались керны донных отложений в разных морфологических частях озера в виде разреза (рис. 1), состоящего из трёх точек - северная часть озера (№ 1), центр (№ 2), южная приледниковая часть (№ 3). Отбор донных отложений произведен с помощью инерционной трубки системы ГОИН с ледовой поверхности. Глубина вскрытых отложений составила 40–70 см. Радиометрический анализ в колонках выполнен послойно.

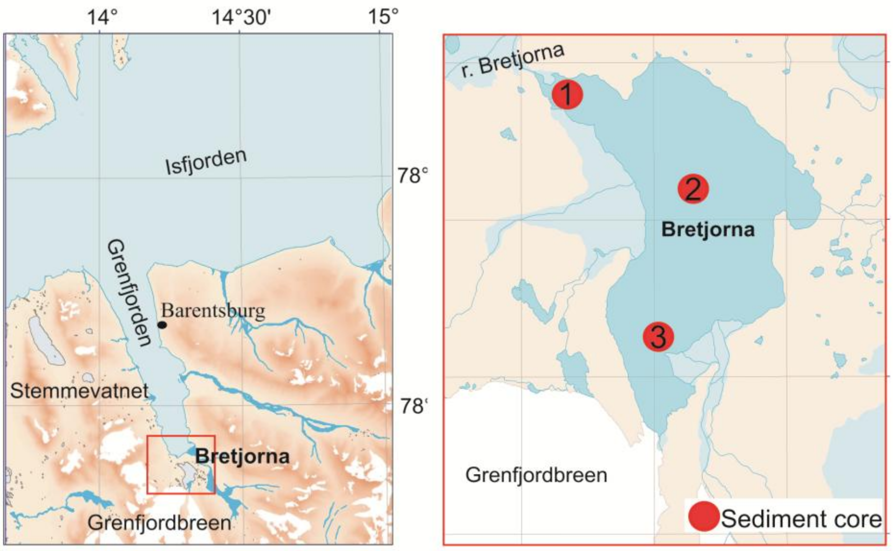
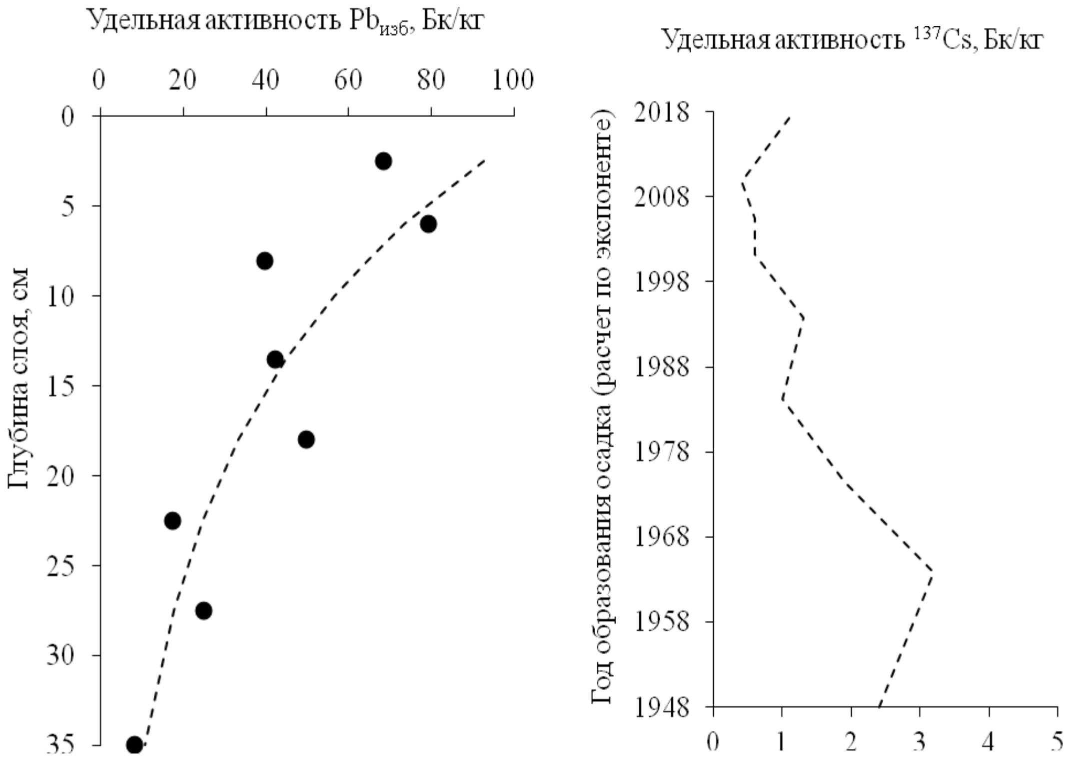
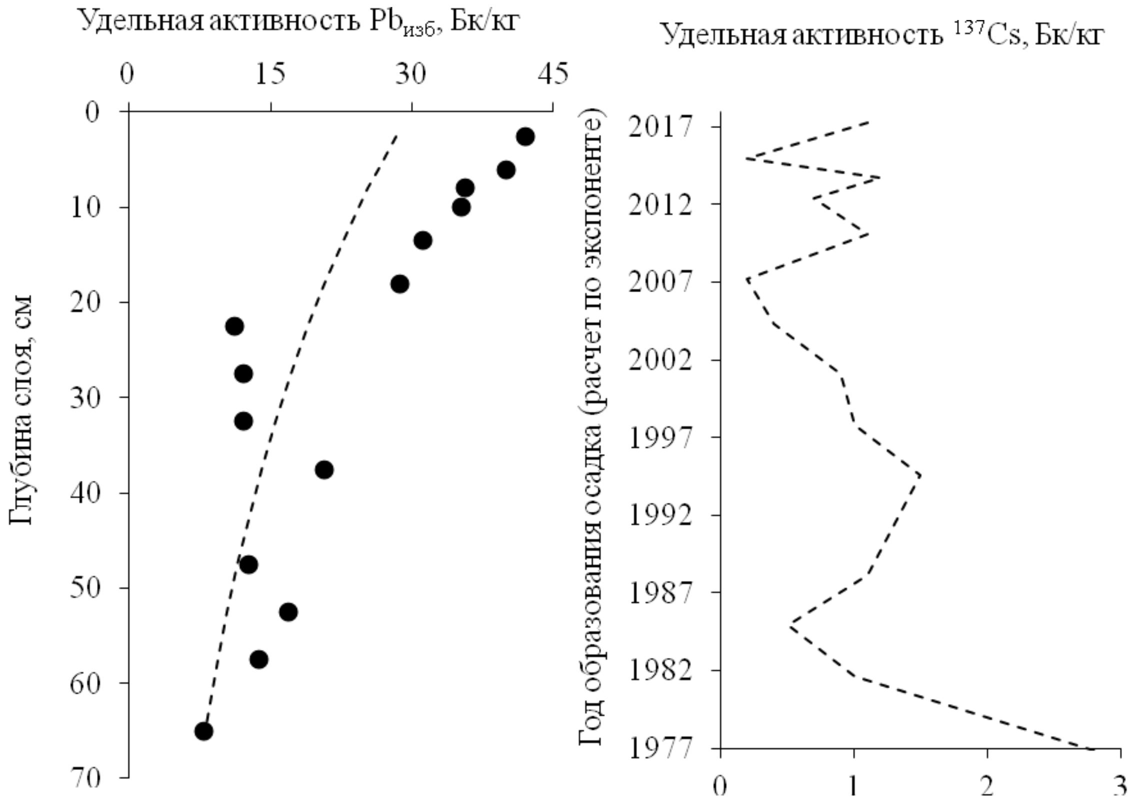


Рис. 1. Станции отбора проб.

Удельную активность радионуклидов ^{226}Ra,^{137}Cs и ^{210}Pb определяли в лаборатории Мурманского морского биологического института на спектрометре гамма- и рентгеновского излучения «b13237» (фирмы «Canberra», США). Спектры анализировали с помощью базового программного обеспечения «Genie-2000». Измерения проводили в сосудах геометрии «банка» объемом 100 мл. Перед измерением все исследуемые образцы осадков высушивали при температуре менее 100ºС, гомогенизировали и для предотвращения диффузии газообразного ^{222}Rn из пробы оставляли на 14 дней в герметично закрытых сосудах (геометрия «банка»). Затем проводили измерение счетного образца, время измерения составляло 12-24 ч.



Колонка № 1



Колонка № 2

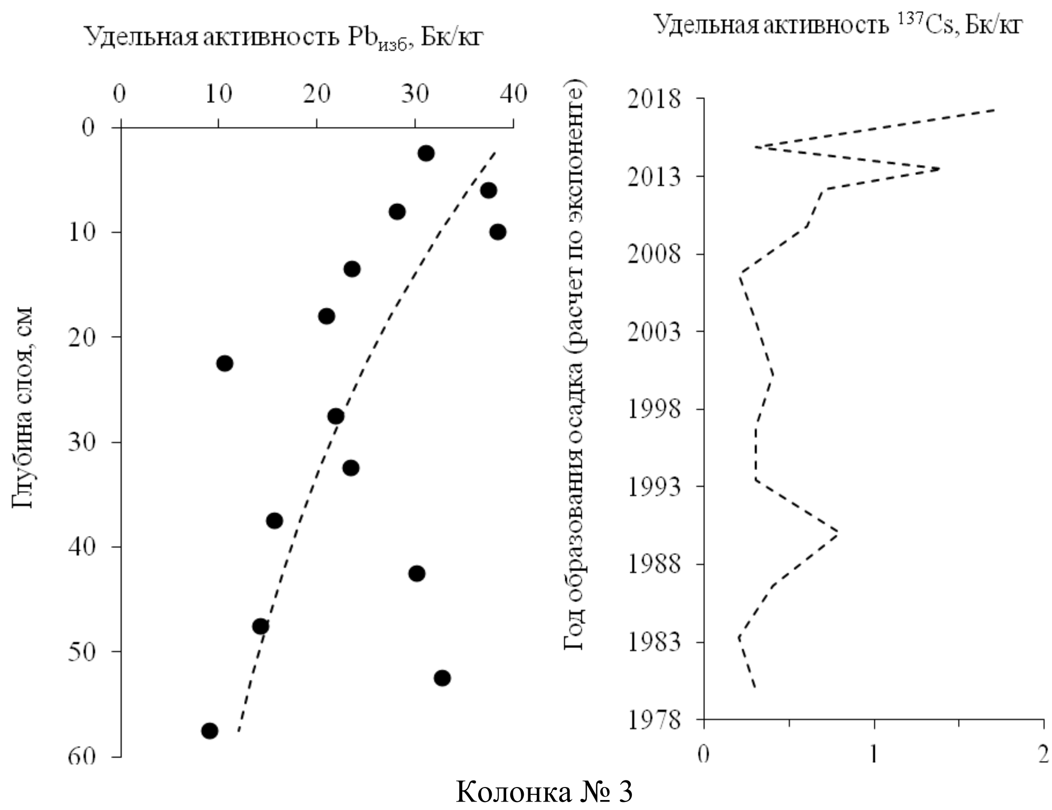


Рис. 2 Удельная активность $Pb_{изб}$ в пробах донных отложений колонки № 1 (северная часть озера), № 2 (центр озера), № 3 (южная приледниковая часть озера).

Условные обозначения:

● $Pb_{изб}={}^{210}Pb-{}^{226}Ra$ (по измерениям)

------ $Pb_{изб}$ (расчет по экспоненте)

Для определения неравновесного ^{210}Pb ($Pb_{изб}$) в наших исследованиях удельная активность равновесного ^{210}Pb (определенная по основным линиям ^{214}Pb 295,2 кэВ и 351,9 кэВ после установления радиоактивного равновесия между ^{222}Rn и его короткоживущими дочерними элементами) была вычтена из общего количества ^{210}Pb (измеренного по его γ-линии 46,5 кэВ). Удельные активности ^{214}Pb и ^{214}Bi, в свою очередь, использовались для количественной оценки содержания ^{226}Ra в отложениях на основе равновесия, устанавливаемого между ^{226}Ra и ^{222}Rn. Равновесие было достигнуто путем герметизации образцов.

Рассчитанные на основании измерений значения $Pb_{изб}$ в каждом слое исследуемых колонок донных отложений по описанному выше методу выявили закономерные снижения удельных активностей, которые описывались по экспоненциальному закону (рис. 2). Для колонки № 1 снижение описывалось уравнением $109.1e^{-0.06x}$, $R^2 = 0.8$; колонки № 2 - $y = 38.4e^{-0.02x}$, $R^2 = 0,7$; колонки № 3 - $y = 37,3e^{-0,02x}$,$R^2 = 0,9$. Используя полученные экспоненциальные данные были реконструированы возрасты образования слоев исследуемых колонок донных отложений. Поверхностный слой для всех колонок– дата отбора проб 31.05. 2017 г. Нижняя граница датирования колонки № 1 (северная часть озера) определена 1948 г., колонки № 2 (центр озера) - 1977 г., колонки № 3 (северная часть) - 1978 г.

Результаты измерений маркерного радионуклида ^{137}Cs показали, что в колонке № 1 повышенные уровни наблюдались на уровне 11-40 см (1.3-3.2 Бк/кг) - пик концентрации 1963 г. (максимум атмосферных выпадений радионуклидов в период испытаний ядерного оружия на Новой Земле). В колонке № 2 удельная активность радиоцезия возрастала в слое 60-70 см (3.0

Бк/кг) – 1977 г. и 30-50 см (1.0-1.8 Бк/кг) – 1995 г. В колонках № 2 и 3 увеличение концентрации ^{137}Cs отмечено только в верхних горизонтах от 5-11 см до 0 см (1.3-1.5 Бк/кг), начало роста датируется с 2015 г. по дату отбора проб.

Таким образом, полученные результаты позволили предположить, что увеличение удельной активности ^{137}Cs в верхних горизонтах колонок № 2 (центр озера) и 3 (южная приледниковая часть) происходит за счет таяния льда, накопившего в период атмосферных выпадений после испытаний ядерного оружия. Данный вывод подтверждается тем, что в северной части озера поверхностные слои колонки № 1 содержат меньше ^{137}Cs по сравнению с более глубокими слоями, причина этого - преимущественное осаждение взвеси из талых ледниковых вод в южной и центральной частях озера.

Работа выполнена в рамках темы государственного задания Федерального государственного бюджетного учреждения науки Мурманского морского биологического института Российской академии наук (ММБИ РАН).

ЛИТЕРАТУРА

Кокин О.В., Кириллова А.В. Реконструкция динамики ледника Грёнфьорд (Западный Шпицберген) в голоцене // Лёд и Снег. 2017. Т. 57. № 2. С. 241–252. doi:10.15356/2076-6734-2017-2-241-252

Матишов Г.Г., Матишов Д.Г., Усягина И.С., Касаткина Н.Е., Павельская Е.В. Оценка потоков ^{137}Cs и ^{90}Sr в Баренцевом море // Доклады Академии наук. 2011. Т. 439. № 6. С. 822–827.

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

Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // Лёд и Снег. 2018. Т. 58. № 4. С. 462-472. https://doi.org/10.15356/2076-6734-2018-4-462-472

Von Gunten, H.R., Moser, R.N. How reliable is the ^{210}Pb dating models? Old and new results from Switzerland // J. Paleolimnol. 1993. Vol. 9. P. 161–178.

Goldberg E.D. Geochronology with ^{210}Pb. Radioactive Dating. International Atomic Energy Agency, Vienna, 1963, p. 121–130.

Krishnaswamy S., Lal D., Martin J.M., Meybeck M. Geochronology of lake sediments // Earth Planet. Sci. Letters. 1971. Vol. 11. P. 407–414. doi:10.1016/0012-821X(71)90202-0

Kirchner G. ^{210}Pb as a tool for establishing sediment chronologies: examples of potentials and limitations of conventional dating models // J. Environ. Radioact. 2011. Vol. 102. P. 490–494. doi: 10.1016/j.jenvrad.2010.11.010

Pittauerova D., Hettwig B., Fischer H.W. Pb–210 sediment chronology: focused on supported lead // Radioprotection. 2011. Vol. 46. Is. 6. P. S277–S282. doi:10.1051/radiopro/20116666s

Sanchez-Cabeza J.A., Ruiz-Fernandez A.C. ^{210}Pb sediment radiochronology: an integrated formulation and classification of dating models // Geochim. Cosmochim. Acta. 2012. Vol. 82. P. 183–200. doi:10.1016/j.gca.2010.12.024

Mabit L., Benmansour M., Abril J.M., Walling D.E., Meusburger K., Iurian A.R., Bernard C., Tarjan S., Owens P.N., Blake W.H., Alewell C. Fallout ^{210}Pb as a soil and sediment tracer in catchment sediment budget investigations: a review // Earth-Sci. Rev. 2014. Vol. 138. P. 335–351. doi:10.1016/j.earscirev.2014.06.007

DATING OF BOTTOM SEDIMENTARY COLUMNS OF BRETJORNA LAKE (ARCHIPELAGO SPITZBERGEN) BY ^{210}Pb BY GAMMA SPECTROMETRY

Usyagina I.S., Meshcheriakov N.I., Kasatkina N.E.

Murmansk Marine Biological Institute, Russian Academy of Sciences, Murmansk, Russia; usjagina@mmbi.info

The paper presents the results of studies of bottom sediment cores sampled in Lake Bretyerna, the Western Spitsbergen archipelago in 2017. Three columns of bottom sediments up to 70 cm thick were analyzed.The ages of sedimentary horizons were determined by ^{210}Pb, the results were verified by the marker of anthropogenic pollution - ^{137}Cs.

Keywords: *columns of bottom sediments, radionuclides, Bretjorna lake, Svalbard*