

О ВОЗМОЖНОСТИ ДАТИРОВАНИЯ ДОННЫХ ОСАДКОВ МАЛЫХ ВОДОТОКОВ МЕТОДОМ НЕРАВНОВЕСНОГО СВИНЦА-210.

Григорьев В.А., Опекунов А.Ю.

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

На примере малого водотока с выраженным техногенным характером осадконакопления опробована возможность датирования методом неравновесного ^{210}Pb донных осадков накапливающихся в слабопроточных условиях. Показано влияние высоких концентраций свинца промышленных сбросов на распределение ^{210}Pb в толще донных осадков. Оценена средняя скорость осадконакопления всей исследованной толщи по распределению ^{210}Pb и Pb в осадочной колонке. Получены удовлетворительные данные о скорости седиментации и времени накопления верхнего ненарушенного слоя осадков (12 см) и тем самым продемонстрирована принципиальная возможность ^{210}Pb -датирования донных осадков малых слабопроточных водотоков.

Ключевые слова: *донные осадки, ^{210}Pb -датирование, малые водотоки, техногенное осадконакопление, скорость седиментации*

Метод не поддержанного равновесием ^{210}Pb (метод неравновесного ^{210}Pb) вот уже больше полувека успешно применяется для хроностратификации современных донных осадков (с возрастом до ~150 лет) в озерах и морях. Наибольшее значение он приобрел в лимнологических исследованиях, где, как правило, режим осадконакопления не осложнен постседиментационными динамическими процессами в толще донных осадков. Менее удовлетворительные результаты данный метод даёт при изучении процессов осадконакопления в морях и речных эстуариях, донные отложения которых часто подвергаются перемешиванию придонными течениями, биотурбацией и склоновыми процессами, а его результаты требуют верификации другими методами (например, датированием по ^{137}Cs). Использование радиоизотопа ^{210}Pb для датирования донных осадков в водотоках ещё более осложнено не только их неизбежным перемешиванием, но и нарушением равновесия в процессе сорбции ^{210}Pb на осаждающихся частицах. И всё же оно возможно при формировании полустойких условий в определенных зонах водотоков, обусловленных, например, низкой скоростью течения и формой русла, что требует тщательного подхода к месту отбора осадочных колонок. Некоторые городские водотоки центральной части Санкт-Петербурга вполне удовлетворяют таковым условиям, позволяя опробовать ^{210}Pb -датирование для их донных осадков (далее - ДО), что и является целью данной работы.

В качестве объекта исследования был выбран устьевой участок р. Ольховка при впадении в р. Екатерингофка, расположенный недалеко от устья последней в Невской губе (Рис. 1).

Река Ольховка имеет длину около 1000 м, ширину 15-25 м, глубину до 4 м. Данный водоток характеризуется минимальной проточностью, что позволяет надеяться на условия устойчивой аккумуляции и отсутствие полного перемешивания осадков. Её устьевой участок обладает наибольшей мощностью ДО (более 2 м), а главной особенностью осадконакопления является его техногенный характер: в Ольховку с 1924 г. регулярно осуществляется сброс промышленных вод завода по производству свинцово-кислотных аккумуляторов (Ленинградского аккумуляторного завода, ныне ЗАО «Электротяга»), что надежно индицируется аномальными концентрациями ряда тяжелых металлов и особенно свинца (до 55,4 г/кг) в ДО данного водотока (Рис. 3).

В устье р. Ольховка на глубине 1,5 м по воде нами была отобрана колонка донных отложений мощностью 53 см. Осадки представлены черным илом без включений, с постепенным уплотнением вниз по разрезу. Колонка была разделена на пробы по её длине

с дискретностью в 1 см. Для целей ^{210}Pb -датирования было выполнено альфа-спектрометрическое определение содержаний ^{210}Pb в 22 пробах по удельной активности его внучатого изотопа – ^{210}Po – согласно разработанной методике [Григорьев, 2016] (Табл. 1).



Рис. 1. Места отбора колонок ДО в р. Ольховка (№ 923) и р. Екатерингофка (№ 924).

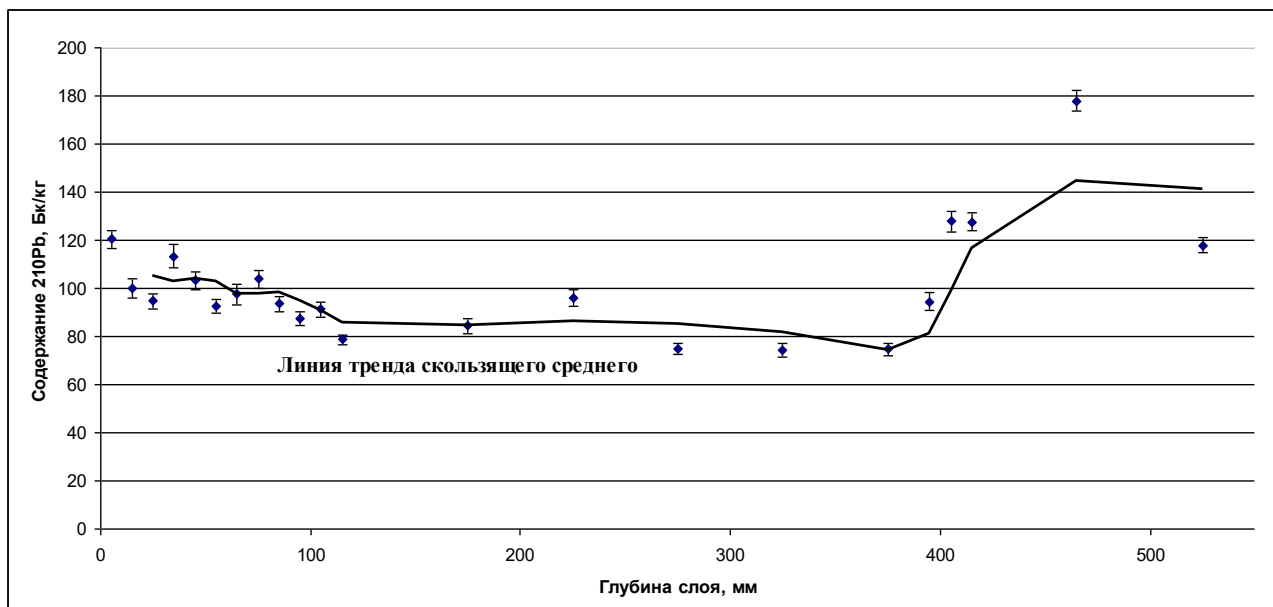


Рис. 2. Распределение ^{210}Pb в колонке ДО № 923 по данным Таблицы 1.

Как видно из Таблицы 1 и Рисунка 2 распределение изотопа ^{210}Pb в колонке № 923 имеет сложный характер.

В верхней части (до глубины ~12 см) наблюдается слабо выраженный тренд на снижение активности определяемого изотопа. В средней части колонки (в толще ~12 – 40 см) концентрация ^{210}Pb колеблется в пределах узкого диапазона значений, не проявляя заметной тенденции к снижению или увеличению. В нижней части (ниже ~40 см и до самого глубокого отобранного слоя 52–53 см) наблюдается резкое возрастание активности ^{210}Pb , что, вероятно, обусловлено надежно установленной в техногенных седиментационных обстановках тесной корреляционной связью между содержанием ^{210}Pb и валовым содержанием Pb [Федоров и др., 2017; Vaasma et al., 2016], которые ниже 40 см возрастают на порядок величины (Рис. 3).

Таблица 1. Содержания ^{210}Pb (определенные по активности ^{210}Po) в отдельных слоях колонки ДО № 923.

№ образца	Слой, см	Глубина, мм	Содержание ^{210}Pb , Бк/кг
1	0 – 1	5	120,53 ± 3,68
2	1 – 2	15	100,16 ± 3,89
3	2 – 3	25	94,83 ± 3,16
4	3 – 4	35	113,38 ± 4,91
5	4 – 5	45	103,16 ± 3,81
6	5 – 6	55	92,51 ± 2,91
7	6 – 7	65	97,5 ± 4,34
8	7 – 8	75	103,76 ± 3,76
9	8 – 9	85	93,53 ± 3,13
10	9 – 10	95	87,33 ± 3,02
11	10 – 11	105	91,22 ± 3,17
12	11 – 12	115	78,71 ± 1,91
13	17 – 18	175	84,33 ± 3,12
14	22 – 23	225	96,05 ± 3,4
15	27 – 28	275	74,75 ± 2,29
16	32 – 33	325	74,16 ± 2,93
17	37 – 38	375	74,62 ± 2,72
18	39 – 40	395	94,41 ± 3,69
19	40 – 41	405	127,89 ± 4,29
20	41 – 42	415	127,49 ± 3,73
21	46 – 47	465	177,98 ± 4,05
22	52 – 53	525	117,96 ± 3,33

Принимая во внимание самые низкие значения активностей образцов № 15, 16 и 17 среди всего анализированного материала колонки № 923 и их равенство (с учетом доверительных интервалов), а также непоследовательное расположение в пределах ~10-сантиметрового слоя, можно предположить, что средневзвешенное значение ^{210}Po -активностей образцов № 15, 16 и 17 отвечает значению концентрации ^{210}Pb поддержанному радиоактивным равновесием в ряду ^{238}U (равновесному ^{210}Pb). Это значение составляет $74,56 \pm 1,5$ Бк/кг.

Расчеты по модели постоянного потока [Куцов, 1986] с использованием данного значения показали, что время накопления верхней 21-сантиметровой толщи осадков составляет 80 ± 4 года, что конечно не является адекватной оценкой возраста, т. к. пиковые значения концентрации Pb вызванные наименее очищенными промышленными сбросами 30-х годов прошлого столетия приходятся на толщу ДО ниже 40-сантиметровой границы (Рис. 3).

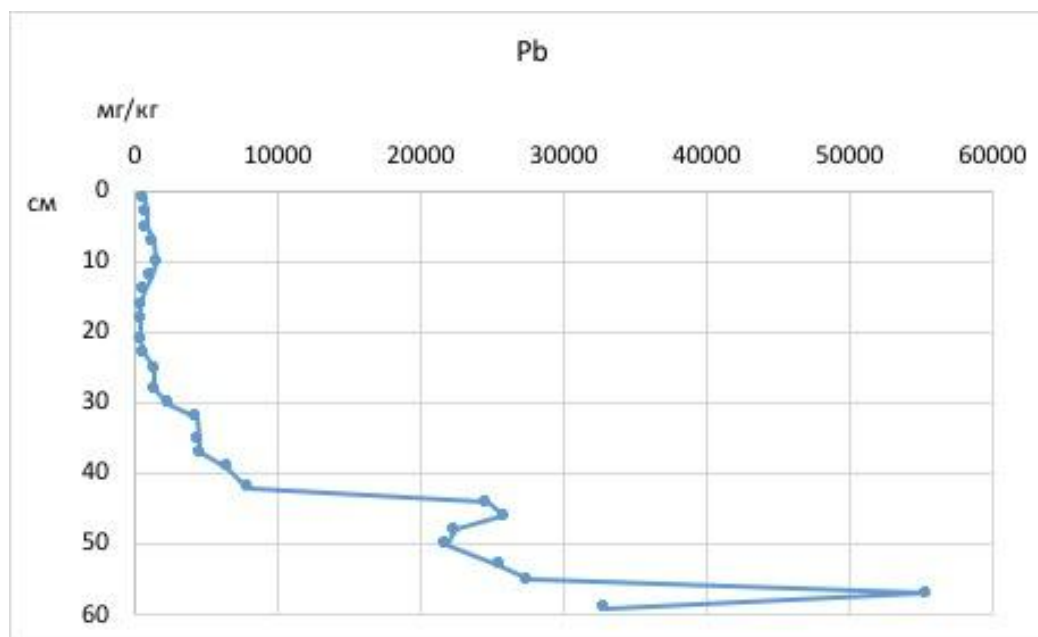


Рис. 3. Содержание свинца (мг/кг) в разрезе колонки ДО № 923.

Таким образом, приходится констатировать, что концентрация ^{210}Pb в данной колонке ДО не достигает равновесных значений, а значит принятое нами значение содержания равновесного ^{210}Pb не подходит для расчетов ^{210}Pb -методом.

Для того чтобы оценить реальное значение концентрации поддержанного равновесием ^{210}Pb нами были привлечены данные о содержании ^{210}Pb в колонке ДО отобранной вне зоны загрязнения валовым свинцом – в ~1 км выше по течению р. Екатерингофка, у её левого берега (колонка ДО № 924, Рис. 1). Так как содержание ^{210}Pb поддержанного равновесием в ряду ^{238}U определяется в первую очередь содержанием ^{210}Pb в источниках терригенного сноса, а для колонок № 923 и № 924 они одинаковы, то стоит ожидать в нижних слоях колонки № 924 таковые равновесные значения.

Определение содержания ^{210}Pb в самом нижнем слое (46 – 47 см) из колонки № 924 установленное нами тем же методом, что и для образцов из колонки № 923, показало 47.02 ± 1.92 Бк/кг.

Приняв данное значение за равновесное для колонки № 923, были рассчитаны концентрации $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ для её верхней части (образцы в горизонте 0 – 12 см), где наблюдается заметный спад содержания ^{210}Pb от верхнего слоя к нижнему (Табл. 2).

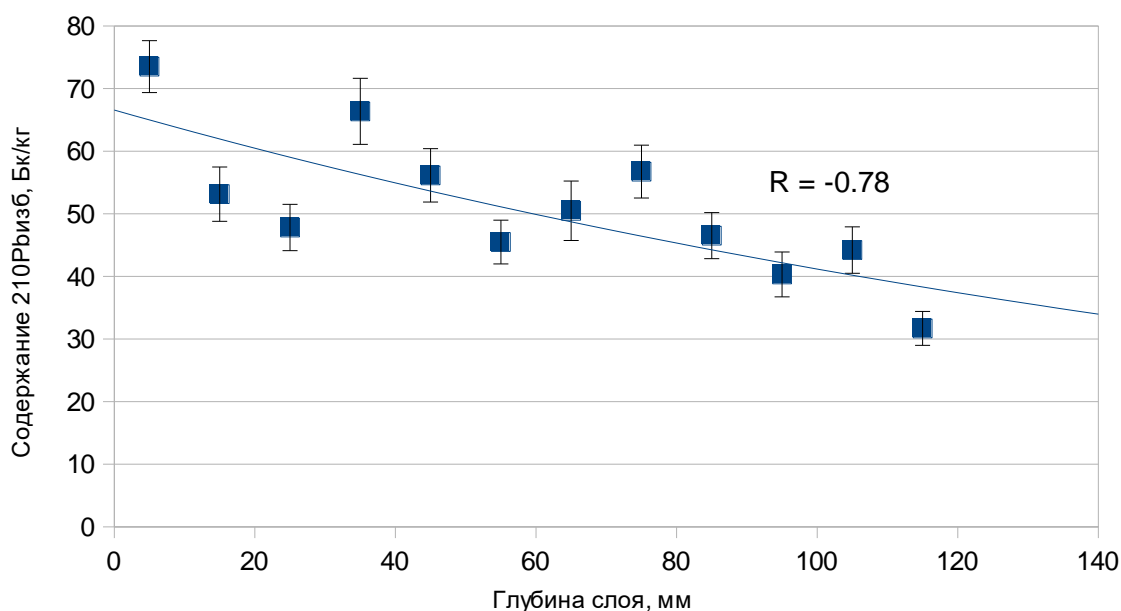
Полученный ряд данных с хорошим приближением ($r = -0.78$) аппроксимируется экспоненциальной зависимостью (Рис. 4), что позволяет применить к нему модель постоянной начальной концентрации ^{210}Pb -метода [Купцов, 1986] для расчета времени накопления верхних 12 см толщи ДО в месте отбора колонки № 923.

Согласно данной модели скорость седиментации постоянна, а спад концентрации $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ определяется только законом радиоактивного распада, и, значит, возраст этой толщи рассчитывается по активностям $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в самом верхнем и самом нижнем слоях и известному периоду полураспада ^{210}Pb (22,2 года) по формуле $t = (-T_{1/2}/\ln 2) \cdot \ln(A_{12}/A_1)$, где $T_{1/2}$ — период полураспада ^{210}Pb , A_{12} и A_1 — активности $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в пробах № 12 и № 1 соответственно.

Рассчитанное таким образом время накопления верхних 12 см колонки № 923 составляет 27.0 ± 3.3 лет, а средняя скорость осадконакопления за этот период — 4.4 ± 0.5 мм/год.

Таблица 2. Содержания $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в верхних слоях (горизонт 0 — 12 см) колонки ДО № 923.

№ образца	Слой, см	Глубина, мм	Содержание $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$, Бк/кг
1	0 – 1	5	73,51±4,15
2	1 – 2	15	53,14±4,34
3	2 – 3	25	47,81±3,7
4	3 – 4	35	66,36±5,28
5	4 – 5	45	56,14±4,26
6	5 – 6	55	45,49±3,49
7	6 – 7	65	50,48±4,75
8	7 – 8	75	56,74±4,22
9	8 – 9	85	46,51±3,68
10	9 – 10	95	40,32±3,58
11	10 – 11	105	44,21±3,71
12	11 – 12	115	31,69±2,71

Рис. 4. Распределение $^{210}\text{Pb}_{\text{изб}}$ в колонке ДО № 923 по данным Таблицы 2.

Для верификации полученного значения скорости седиментации существует возможность оценить среднюю скорость осадконакопления для всей колонки № 923 по времени прошедшему с момента поступления максимально загрязненных свинцом сбросов и пику активности ^{210}Pb в вертикальном профиле распределения (Табл. 1), обусловленному, как указывалось выше, высокими валовыми содержаниями Pb техногенного происхождения. Максимальное значение активности среди проанализированных образцов получено для пробы № 21 (слой 46 – 47 см). Зная, что Ленинградский аккумуляторный завод вышел на полную мощность к ~1930 г., среднюю скорость осадконакопления можно оценить как ~5 мм/год, что ненамного больше полученного нами значения особенно с учетом доверительного интервала, а принимая во внимание большую интенсивность сбросов в довоенный период, уменьшение скорости осадконакопления к началу 21 века вполне правдоподобно отражается данными ^{210}Pb -датирования.

Таким образом, на примере исследованного нами объекта показана принципиальная возможность применения метода неравновесного ^{210}Pb для датирования донных осадков слабопроточных малых водотоков в условиях выраженного техногенного загрязнения.

Исследования проведены в рамках проекта РФФИ № 19-05-00508.

ЛИТЕРАТУРА

Григорьев В.А. Методологические аспекты установления скоростей осадконакопления в глубоководных котловинах Среднего и Южного Каспия (по данным радиоизотопного датирования донных отложений) // Пути эволюционной географии: Материалы Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 23–25 ноября 2016 г.). М.: Институт географии РАН, 2016. С. 74–77.

Купцов В.М. Абсолютная геохронология донных осадков океанов и морей. М.: Наука. 1986. С. 171 – 187.

Федоров Ю. А., Ярославцев В. М., Доценко И. В. Естественные и техногенные радионуклиды в донных отложениях (на примере р. Дон, ст. Манычская) // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2017. № 3-1 (195-1). С. 108–113. doi: 10.23683/0321-3005-2017-3-1-108-113

Vaasma T., Bityukova L., Kiisk M., Ozden B., Tkaczyk A.H. Behaviour mechanisms and correlation between lead (Pb) and its isotope ^{210}Pb in industrial residue as an indicator for waste characterization // Environmental Technology. 2016. Vol. 37. Is. 24. P. 3208-3218. <https://doi.org/10.1080/09593330.2016.1181673>

ON THE POSSIBILITY OF ^{210}Pb -DATING OF THE BOTTOM SEDIMENTS OF SMALL RIVER STREAMS

Grigoriev V.A., Opekunov A.Yu.

Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

On the example of a small watercourse with a pronounced technogenic character of sedimentation, the possibility of dating by the method of non-equilibrium ^{210}Pb bottom sediments accumulated under weak flow conditions was tested. The influence of high concentrations of lead from industrial discharges on the distribution of ^{210}Pb in the thickness of bottom sediments is shown. The average rate of sedimentation of the entire studied strata was estimated from the distribution of ^{210}Pb and Pb in the sedimentary column. Satisfactory data on the sedimentation rate and accumulation time of the upper undisturbed sediment layer (12 cm) have been obtained, and thus the fundamental possibility of ^{210}Pb dating of bottom sediments of small low-flow streams has been demonstrated.

Keywords: *bottom sediments, ^{210}Pb dating, small streams, technogenic sedimentation, sedimentation rate*