

*Кузьменкова Н.В., МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва;  
Голосов В.Н., Александрин М.А., Шишков В.О.,  
Иванов М.М., Грабенко Е.А, ИГ РАН, г. Москва;  
Быхалова О.Н. ФГБУ «ГПЗ «Утриш»*

## ОЦЕНКА ОСОБЕННОСТЕЙ ОСАДКОНАКОПЛЕНИЯ В ОЗЕРАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ В РАЗНЫХ ВЫСОТНЫХ ПОЯСАХ КАВКАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАДИОНУКЛИДОВ

**Аннотация.** Исследованы особенности поступления наносов в донные отложения шести озер Северного Кавказа за последние 100 лет с использованием  $^{137}\text{Cs}$  и естественных радионуклидов ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ). Озера расположены в контрастных географических условиях на разных гипсометрических позициях, имеют разное происхождение. В статье определены скорости осадконакопления в горных озерах Северного Кавказского хребта и сделаны выводы об особенностях поступления в них наносов.

**Ключевые слова:** радионуклиды, сток наносов, осадконакопление, озера Кавказа

Кавказский горный массив является важным циркуляционным барьером, что обуславливает возможность накопления переносимых с воздушными массами и выпадающих вместе с осадками техногенных радионуклидов [Kordzadze et al., 2008]. При этом радиоактивность почв и особенно озер Кавказа достаточно мало изучена с точки зрения радиоактивности. Основное внимание до сегодняшнего дня было уделено сельско-хозяйственным угодьям [Buraeva et al., 2015], расположенным в Кавказском регионе. В отличие от искусственных радионуклидов, таких как  $^{137}\text{Cs}$ , даты выпадения которого на земную поверхность известны достаточно точно, характер распределения естественных ( $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{232}\text{Th}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ) в донных осадках определяет сочетание многих факторов (физических, химических и геохимических свойств радиоизотопов, геологических, климатических и биологических). Почвы Кавказа имеют заведомо повышенный радиоактивный фон ввиду близкого выхода горных пород [Асварова и др., 2012].

Для исследования выбраны два озера, осадконакопление которых прямым образом связано с находящимися выше ледниками го-

ры Эльбрус (Гарабаши и Донгуз-Орун), три озера, где осадконакопление связано исключительно с талыми водами и твердым стоком (Хорлакель, Б. Дзитацкое и Б. Хмелевское) и одно озеро куда осадки поступают с поверхностным смывом (Сухой Лиман) (Таб. 1.). Все озера, кроме Сухого Лимана располагаются на Северном склоне Большого Кавказского хребта.

Таблица 1. Основные характеристики исследованных озер кавказского Хребта

Название	Высота над уровнем моря, м	Площадь водного зеркала, м <sup>2</sup>	Средняя глубина, м	Происхождение	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Среднег. сумма осадков, мм.
Гарабаши	2880	1200	1,5	Ледниковое	0,10	948
Донгуз-Орун	2545	105000	10	Ледниковое	13,3	948
Хорлакель	2040	43700	10	Моренная котловина	0,25	1046
Большое Дзитацкое	1913	22550	10	Лавинного выбивания	1,10	1607
Большое Хмелевское	1752	9390	2	Тектоническое	0,96	1607
Сухой Лиман	531	3200	1	Сейсмогенное	2,57	560

Определение содержания гамма-активных радионуклидов осуществлялось при помощи гамма-спектрометра ORTEC GEM-C5060P4-B с применением полупроводникового детектора из сверхчистого германия (HPGe) с бериллиевым окном, и относительной эффективностью 20%.

Для определения возраста осадков радиосвинцовым методом использовалась методика постоянной начальной концентрации:

$$t = \lambda^{-1} \frac{C(0,0)}{C(t,x)}$$

где:

t – возраст осадка, лет

C – удельная активность горизонта, Бк/кг

$\lambda$  – постоянная радиоактивного распада <sup>210</sup>Pb

x – глубина, м.

Для определения возраста отдельных слоев донных отложений с помощью техногенного <sup>137</sup>Cs на эпюре его вертикального распре-

деления были выделены пики, нижний из которых соответствует максимуму глобальных выпадений в 1963 г. (основные испытания ядерного оружия в Северном полушарии), а верхний 1986 г. (авария на Чернобыльской АЭС). Каждый из пиков концентрации  $^{137}\text{Cs}$  мог сформироваться только в условиях непрерывного осадконакопления со второй половины 20 века. Отсутствие одного из пиков означало крайне низкие скорости отложения наносов в водоёме во второй половине 20-го века.

Для примера приведем вертикальное распределение свинца и цезия в донных осадках озера Гарабаши. Скорость осадконакопления установлена 0,07 см/год (рис. 1). Определены два периода разного интенсивности перераспределения наносов в озеро (до 1994 года и после).

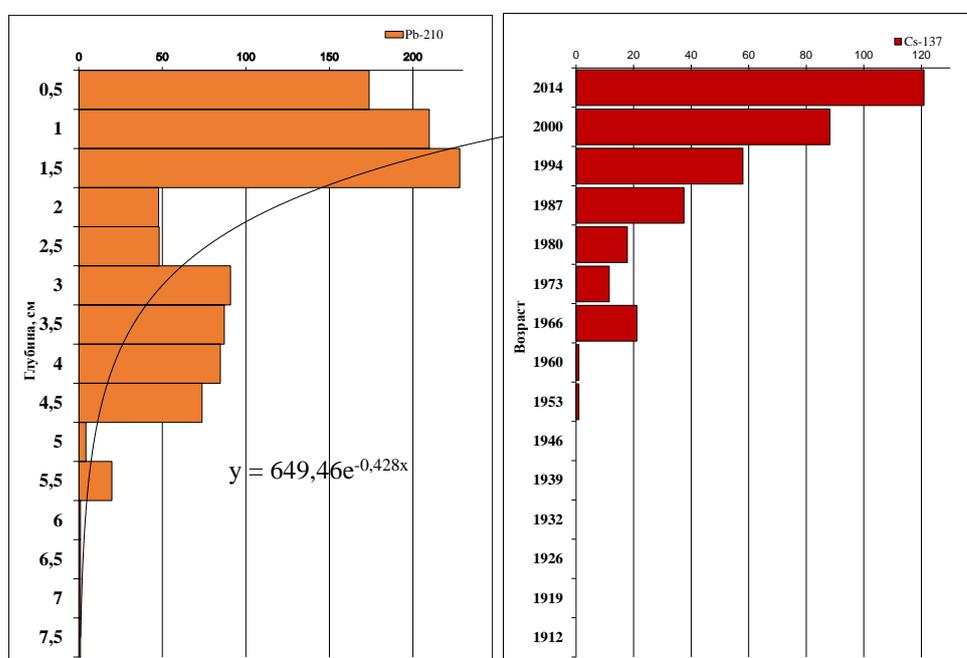


Рисунок 1. Вертикальное распределение неравновесного свинца и  $^{137}\text{Cs}$  в колонке о. Гарабаши.

Для озера Донгуз-Орун установлено, что за последние 40 лет преобладал жидкий сток, что косвенно может указывать на сильное влияние ледникового стока в последние годы. Результаты определения искусственных и естественных радионуклидов в озере Хорлакель определили наличие пика  $^{137}\text{Cs}$  в верхнем горизонте. Керн представляет собой утрамбованные органические остатки разной степени разложенности. Скорость осадконакопления определить не удалось. Удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  в колонке озера Большое Дзитацкое в несколько раз выше удельных активностей этих радионуклидов в колонках озер, расположенных в центральной ча-

сти кавказского хребта. Это может указывать на присутствие здесь Чернобыльских выпадений. В данном случае, радионуклиды не являются маркерами для водосборов в силу однородности их распространения, либо вклад разных источников наносов во времени не изменяется. Озеро имеет происхождение лавинного выбивания. Однородное распределение свинца может также указывать на аномально высокие скорости осадконакопления, либо на постседиментационное перемешивание. Результаты исследований в колонке донных осадков озера Большое Хмелевское показали неравномерный профиль распределения антропогенного  $^{137}\text{Cs}$  с явным выделением пиков Чернобыльских и глобальных выпадений. Для озера Сухой Лиман установлена скорость осадконакопления равная 0,049 см/год. Кривые распределения цезия и свинца показывают, что наносы поступают в озеро равномерно в последнее столетие. Удельные активности низкие, что указывает на влияние здесь больше глобальных выпадений, чем Чернобыльских.

Максимальное количество искусственного  $^{137}\text{Cs}$  определено в озере Большое Хмелевское (до 2 кБк/кг). Результаты расчета скорости осадконакопления с помощью неравновесного  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  определили ее как 0,07 см/год. Несмотря на высокие удельные активности  $^{137}\text{Cs}$ , запасы в самом высоком значении достигают лишь 13 кБк/м<sup>2</sup>, что ниже допустимых нормативов – 37 кБк/м<sup>2</sup>. Распределение  $^{137}\text{Cs}$  по колонке напоминает другое озеро – Хуко, имеющее также тектоническое происхождение. Оно было исследовано авторами ранее [Kuzmenkova et al., 2020]. Высокое содержание цезия позволило предположить здесь наличие других искусственных радионуклидов. Так, в озере Б. Хмелевское было обнаружено значимое количество  $^{241}\text{Am}$  в горизонте 3-4.

Таким образом установлено, что озера располагающиеся выше имеют гораздо большую скорость осадконакопления. Это связано напрямую с таянием ледников. Исследования осадконакопления в озере Донгуз-Орун показали также, что скорость в последние 40 лет увеличилась в 1,5 раза. Максимальные удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}_{\text{ex}}$  обнаружены в озерах среднегорного пояса Кавказского хребта.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФ No. 19-17-00181*

#### **Литература:**

Асварова Т.А., Абдулаева А.С., Магомедов М.А. Естественные радионуклиды в породах и почвах высокогорных районов Большого Кавказа // Почвоведение, 2012, N 6.

Buraeva E.A., Bezuglova O.S., Stasov V.V., Nefedov V.S., Dergacheva E.V., Goncharenko A.A., Martynenko S.V., Goncharova L.Yu., Gorbov S.N., Malyshevsky V.S., Varduny T.V. Features of  $^{137}\text{Cs}$  distribution and dynamics in the main soils of the steppe zone in the southern European Russia//Geoderma, 2015, Vols. 259-260, P. 259-270.

Kordzadze A.A., Surmava A.A., Kukhalashvili V.G. Numerical investigation of the air possible pollution in case of large hypothetical accidents in some industrial territories of the Caucasus, P. 11.

Kuzmenkova N.V., Ivanov M.M., Alexandrin M.Y., Grachev A.M., Rozhkova A.K., Zhizhin K.D., Grabenko E.A., Golosov V.N. Use of natural and artificial radionuclides to determine the sedimentation rates in two North Caucasus lakes // Environmental Pollution, 2020, Vol. 262, P. 114269.