

**Валерий Николаевич УДАЧИН** —

*зав. лабораторией минералогии техногенеза и геоэкологии*

*Института минералогии УрО РАН (г. Миасс),*

*кандидат геолого-минералогических наук, доцент*

*udachin@ilmeny.ac.ru*

**Владимир Владиславович ДЕРЯГИН** —

*зав. кафедрой физической географии,*

*Челябинского государственного педагогического университета,*

*кандидат географических наук, доцент*

*vderyagin@mail.ru*

**Руджи КИТАГАВА** —

*профессор факультета наук о Земле*

*Университета г. Хиросимы (Япония),*

*доктор естественных наук*

*kitagawa@sci.hiroshima-u.ac.jp*

**Павел Гаязович АМИНОВ** —

*аспирант Института минералогии УрО РАН (г. Миасс)*

*aminovp@mail.ru*

УДК 550.46

## **ИЗОТОПНАЯ ГЕОХИМИЯ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР ЮЖНОГО УРАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ МАСШТАБОВ ГОРНОПРОМЫШЛЕННОГО ТЕХНОГЕНЕЗА\***

### **ISOTOPE GEOCHEMISTRY OF SEDIMENTS OF LAKES SOUTHERN URAL FOR AN ESTIMATION OF SCALES MINING OF TECHNOGENESIS**

**АННОТАЦИЯ.** На примере трех разноудаленных от источника эмиссии озер Южного Урала рассмотрены вопросы оценки масштабов накопления техногенных тяжелых металлов с использованием в качестве геохимических возрастных трассеров короткоживущих радионуклидов  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Выявлены количественные закономерности объемов поступления антропогенных примесей на акваторию озер в доиндустриальный и индустриальный периоды.

**SUMMARY.** On an example of three long different from a source of lakes issue in Southern Ural Mountains questions an estimation of scales accumulation technogenic heavy metals with use as geochemical age markers radioisotopes  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{137}\text{Cs}$  are considered. Quantitative laws of volumes of receipt of anthropogenous impurity on water area of lakes in preindustrial and the industrial periods are revealed.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.** Донные отложения озер, радиоизотопы, Южный Урал, техногенное загрязнение.

**KEY WORDS.** Lake sediments, radioisotopes, South Ural, technogenic pollution.

В качестве индикаторной среды выявления масштабов и направленности антропогенного воздействия на экосистемы достаточно часто рассматриваются донные отложения озер. Являясь водоемами замедленного стока, озера аккумулируют тяжелые металлы, поступающие как в составе поверхностного стока,

---

\* Исследования выполнены при финансовом содействии проекта интеграционных исследований УрО-СО-ДВО РАН и программы поддержки научных исследований Южно-Уральского государственного университета.

так и аэральным путем. После попадания на акваторию озер тяжелые металлы включаются в сложные процессы взаимодействия с водной средой и твердожидким субстратом донных отложений. Дальнейшая судьба поллютантов зависит от условий аккумуляции и форм их поступления в депонирующую среду. Оценка масштабов накопленных антропогенных примесей в донных отложениях озер базируется на выверенных количественных расчетах скоростей озерного седиментогенеза и абсолютных концентрациях потенциальных токсикантов в донных отложениях. Одним из актуальных вопросов исследования современных процессов антропогенного воздействия на окружающую среду является выбор и корректное использование имеющихся в арсенале современной науки инструментальных методов количественной оценки степени антропогенного воздействия. Особенно интересной представляется возможность количественной оценки техногенного накопления элементов из группы тяжелых металлов во временном срезе. Незаменимым объектом для такой оценки являются донные отложения озер, которые представляют собой исторический природный «архив» всех протекавших на водосборе процессов. Последовательность осадконакопления и сопровождавших его явлений зафиксирована во временном срезе донных отложений. И если мы имеем возможность отобрать колонку донных отложений с ненарушенной последовательностью слоев и выполнить комплексный анализ отобранных проб, то сможем выполнить датировку каждого из выделенных интервалов донных отложений, оценить скорость осадконакопления в озере (мм/год), а также выполнить химический анализ проб выделенных интервалов и оценить масштабы поступления химических элементов в донные отложения в различные временные периоды.

Район исследований расположен на восточных склонах Южного Урала в области с широко проявленными процессами горнопромышленного техногенеза — Карабашской антропогенной геохимической аномалии [1], [2], [3], [4], [5]. Здесь, начиная с 1910 г., на Карабашском медеплавильном заводе осуществлялась выплавка черновой меди, и необратимые процессы деградации окружающей среды привели к формированию техногенной пустоши на площади в 8 км<sup>2</sup>. Почвы в непосредственной близости от завода деградированы, гумусово-аккумулятивный горизонт отсутствует, а на удалении от завода значительная часть почв имеет редуцированный профиль, где периодически проявлявшиеся процессы эрозии привели к частичному смыву верхнего горизонта. Это не позволяет в историческом срезе проследить особенности накопления техногенных концентраций тяжелых металлов и оценить масштабы воздействия.

Для выполнения исследований в качестве объектов мы выбрали три озера на различном удалении от источника эмиссии — труб медеплавильного завода. Жемчужина Южного Урала — озеро Тургояк — находится в 38 км от источника эмиссии в направлении, противоположном преобладающему направлению ветров, озеро Алабуга расположено в 9 км, а озеро Серебры в 4 км от источника эмиссии в направлении господствующих ветров. Стратифицированные колонки неконсолидированных донных отложений длиной 30-32 см отобраны пробоотборником гравитационного типа с закрывающейся диафрагмой и разбиты на интервалы 1-2 см. Интервалы более глубоких горизонтов с консолидированными илами отобраны поршневой трубкой и опробованы с шагом 5 м. Анализ воздушно-сухих проб выполнен на атомно-абсорбционных спектрофотометрах Perkin Elmer 3110 (определялись Fe, Mn, Cu, Zn, Ni, Co, Ba, Sr, Li) и Analyst 300 (определялись Pb, Cd, As). Для определения Hg использовали

ртуть-гидридную приставку MHS-10, выполняли определение методом «холодного пара» после восстановления Hg двуххлористым оловом. Для датировки абсолютного возраста выделенных слоев в них анализировались концентрации радиоактивных изотопов  $^{210}\text{Pb}$  и  $^{137}\text{Cs}$ . Изотоп  $^{210}\text{Pb}$  позволяет определить абсолютный возраст во временном интервале последних 130 лет. В упрощенном виде вычисление возраста осадка производится по формуле:

$$t = 1 / \lambda \ln A_0 / A_1,$$

где  $t$  — возраст слоя осадка (лет);  $\lambda$  — постоянная радиоактивного распада  $^{210}\text{Pb}$  (0.03114);  $A_0$  — полный запас  $^{210}\text{Pb}$  в колонке;  $A_1$  — запас радионуклида ниже датированного слоя [6]. По максимальным концентрациям изотопа  $^{137}\text{Cs}$ , выраженным в виде резкого, контрастного пика, определяли слой донных отложений, соответствующий 1963 г. — времени массовых выпадений радионуклидов из атмосферы на земную поверхность в период наземных испытаний ядерного оружия. Определение активности  $^{210}\text{Pb}$  выполняли после полного вскрытия навесок проб от 1 до 3 г смесью  $\text{HF} + \text{HCl} + \text{HNO}_3$  в стеклоуглеродных тиглях двукратного выпаривания с концентрированной  $\text{HNO}_3$  и сведению к конечной аликвоте 1 н.  $\text{HNO}_3$  объемом 100 мл. После электролиза и высаживания на диск из нержавеющей стали активность  $^{210}\text{Po}$  оценивали на альфа-спектрометре с пересчетом на  $^{210}\text{Pb}$ . После определения возраста каждого из слоев опробуемой колонки вычисляли количество тяжелых металлов  $I$  ( $\text{мг}/\text{м}^2/\text{год}$ ), поступавших на акваторию озера в определенном временном интервале:

$$I = C_i (\rho \cdot S) / \Delta_i,$$

где  $C_i$  — содержание элемента в пробе ( $\text{мг}/\text{кг}$ );  $\rho$  — удельный вес осадка на опробуемом интервале ( $\text{г}/\text{см}^3$ );  $S$  — мощность опробуемого интервала (см);  $\Delta_i$  — время формирования слоя донных отложений (лет).

Определение скорости осадконакопления для донных отложений озера Серебры (рис. 1) устанавливает цифру 4,8 мм/год, для озера Алабуга (рис. 2) — 2,9 мм/год, для озера Тургояк (рис. 3) — 1,7 мм/год. Характер распределения в вертикальном разрезе донных отложений основных тяжелых металлов (рис. 4, 5, 6) позволяет сделать следующие выводы:

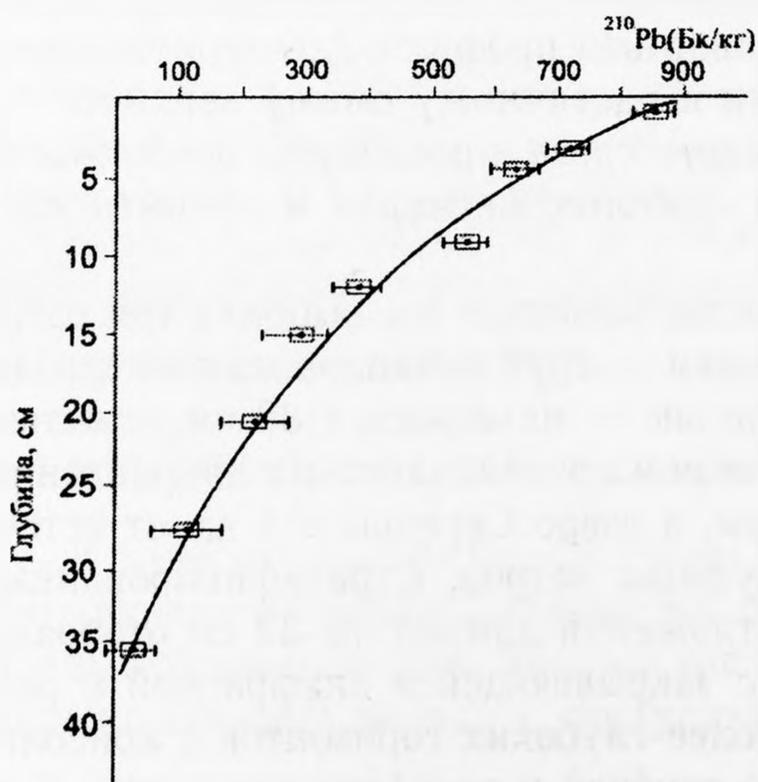


Рис. 1. Распределение активностей  $^{210}\text{Pb}$  в колонке донных отложений озера Серебры

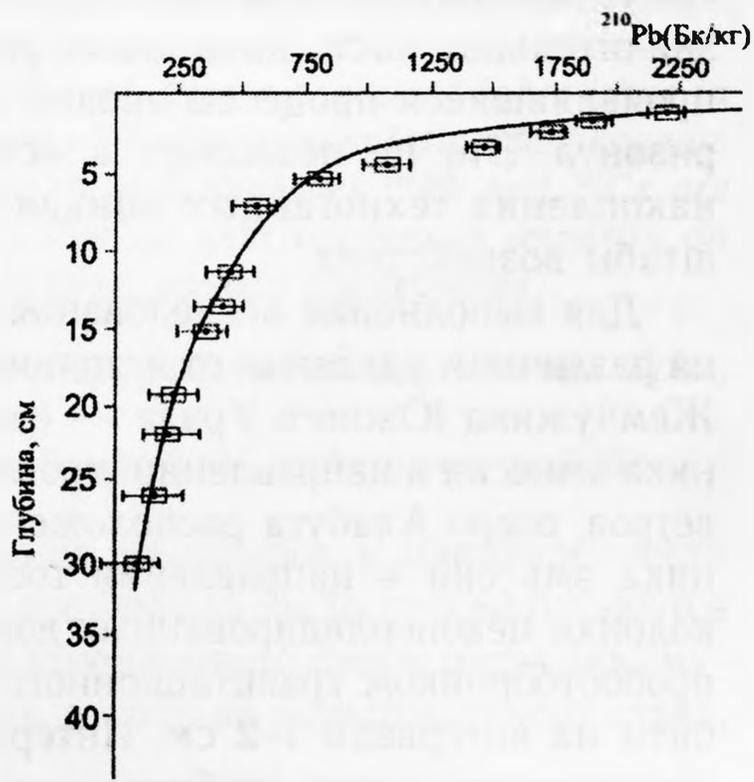


Рис. 2. Распределение активностей  $^{210}\text{Pb}$  в колонке донных отложений озера Алабуга

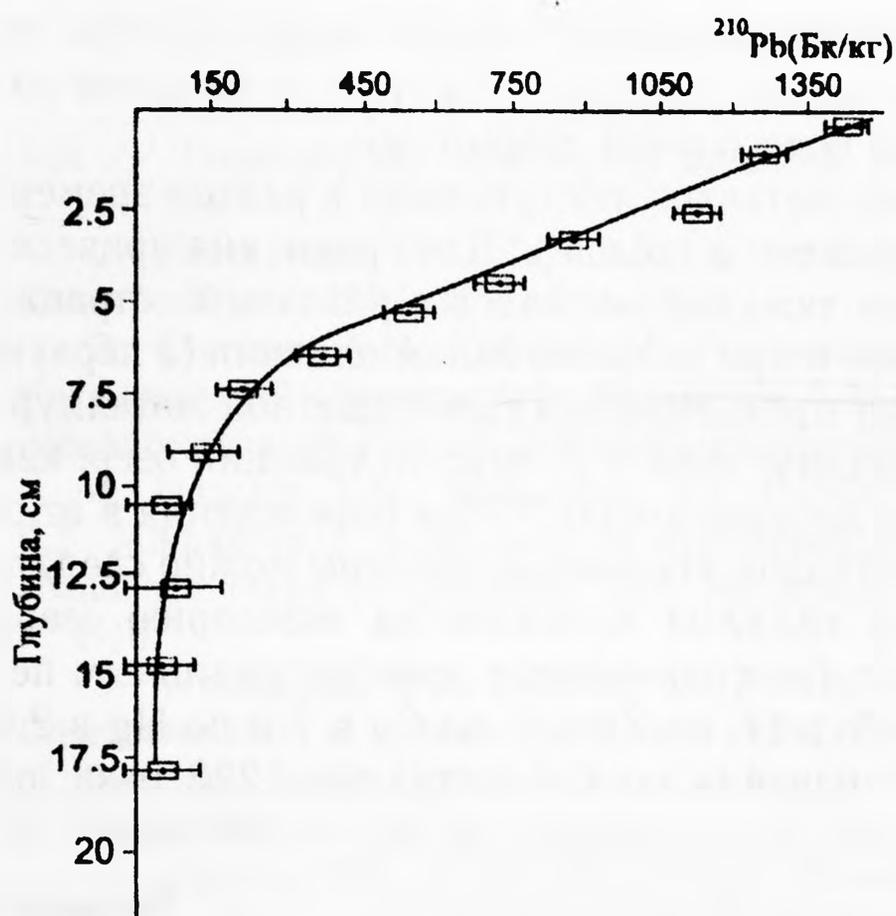


Рис. 3. Распределение активностей  $^{210}\text{Pb}$  в колонке донных отложений озера Тургойак

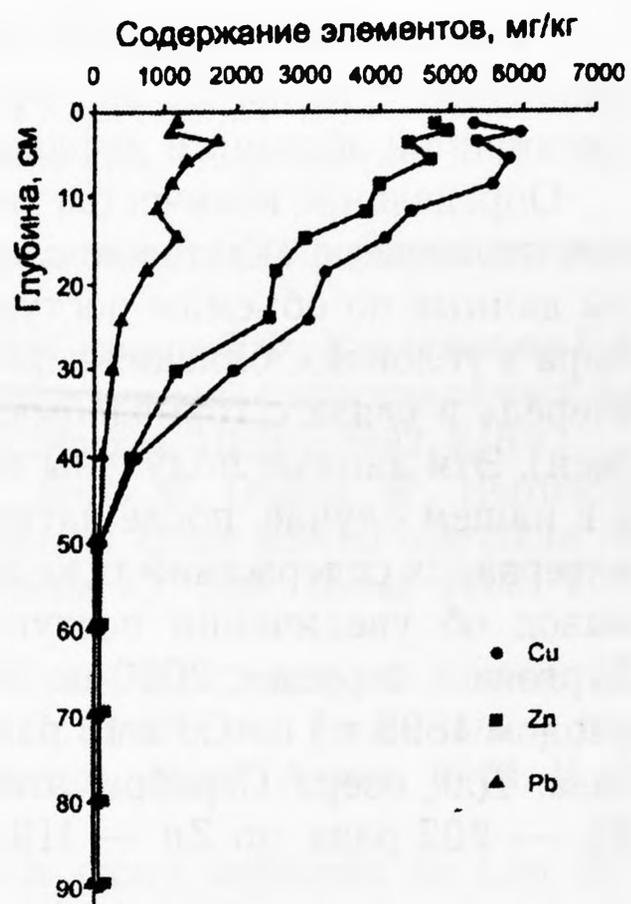


Рис. 4. Концентрации тяжелых металлов в вертикальном разрезе колонки донных отложений озера Серебры

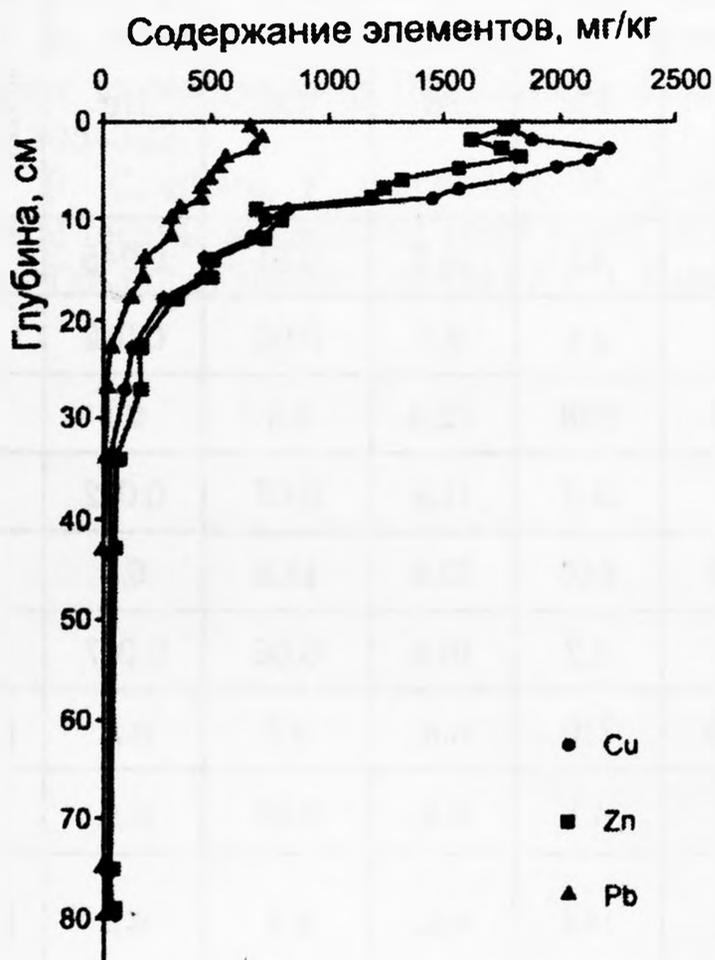


Рис. 5. Концентрации тяжелых металлов в вертикальном разрезе колонки донных отложений озера Алабуга

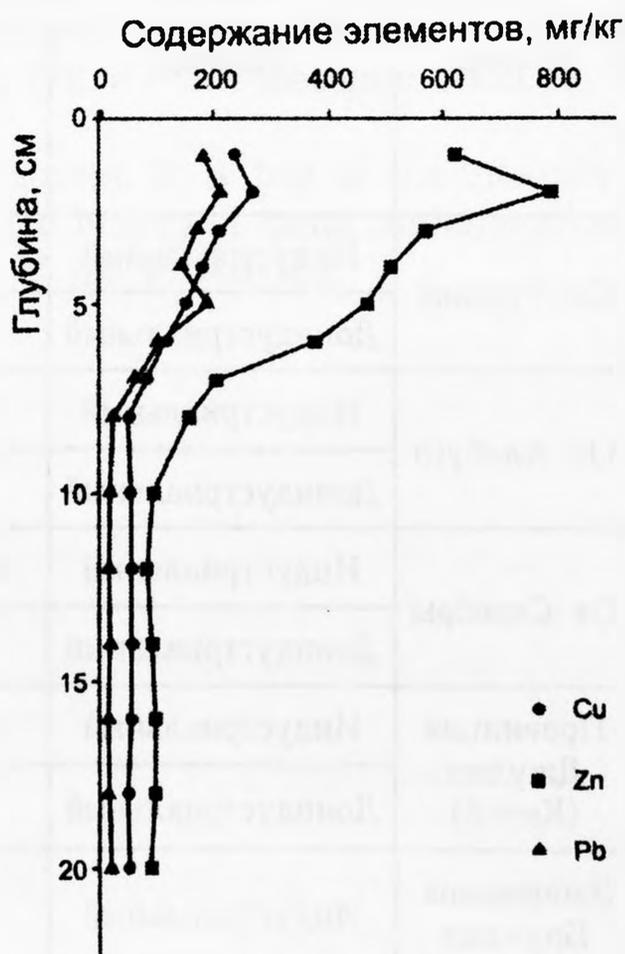


Рис. 6. Концентрации тяжелых металлов в вертикальном разрезе колонки донных отложений озера Тургойак

— тип кривых распределения концентраций отражает ярко выраженный тип техногенного влияния на акваторию озер с резким возрастанием концентраций в индустриальный период;

— начало индустриального периода в исследуемом районе определяется началом воздействия в 1910 г. точечного источника эмиссии — Карабашского медеплавильного завода;

— увеличение скорости осадконакопления в 1,7 раза в озере Серебры, по сравнению с таким же эвтрофным озером Алабуга, связано с процессами антропогенной абразии и дефляции на водосборной территории.

Определение количества тяжелых металлов, поступавших в разные временные периоды на акваторию озер, отражено в табл. 1\*. Для сравнения приведены данные по объемам поступления тяжелых металлов в различных странах мира в условиях, близких к фоновым, и при антропогенном влиянии (в первую очередь в связи с горнодобывающей промышленностью и цветной металлургией). Эти данные получены при анализе почв и донных отложений озер, как и в нашем случае, после датировки интервалов по  $^{210}\text{Pb}$  и определения в этих интервалах содержания тяжелых металлов. Из данных таблицы можно сделать вывод об увеличении поступления тяжелых металлов на акваторию озера Тургояк в период с 2000 по 2005 гг. (по сравнению с доиндустриальным периодом 1898 г.) по Cd в 18 раз, по Pb в 17, по Zn в 9, по Cu в 7 и по Hg в 2,6 раза. Для озера Серебры эти же значения по Cd составляют 222 раза, по Pb — 202 раза, по Zn — 119 раз, по Cu — 318 раз, по Hg — 376 раз.

Таблица 1

**Объемы поступления металлов в природные и природно-техногенные ландшафты в различные временные периоды**

Районы	Период	Объемы поступления тяжелых металлов (мг/м <sup>2</sup> /год)						Литературный источник
		Cu	Zn	Pb	Ni	Cd	Hg	
Оз. Тургояк	Индустриальный	52	137	40	16.5	0.91	0.045	
	Доиндустриальный	8	16	2.4	9.3	0.05	0.012	
Оз. Алабуга	Индустриальный	1625	1126	298	22.4	6.4	2.1	
	Доиндустриальный	9	14	3.0	11.8	0.07	0.012	
Оз. Серебры	Индустриальный	3180	2269	646	23.8	13.3	6.4	
	Доиндустриальный	10	19	3.2	10.4	0.06	0.017	
Провинция Джулин (Китай)	Индустриальный	837	1430	710	н.д.	9.5	н.д.	[7]
	Доиндустриальный	5	19	4.1	н.д.	0.07	н.д.	
Заповедник Брумхид (Великобритания)	Индустриальный	н.д.	152	144	н.д.	н.д.	н.д.	[8]
	Доиндустриальный	н.д.	11	10.3	н.д.	н.д.	н.д.	
Провинция Онтарио (Канада)	Индустриальный	882	1820	529	н.д.	12.7	н.д.	[9]
	Доиндустриальный	11	20	5.8	н.д.	0.07	н.д.	

Примечание: н.д. — нет данных.

\* Авторы благодарят за помощь в отборе проб донных отложений В.Е. Ганеева, Г.Ф. Лонцакову и Л.Г. Удачину за химико-аналитические работы по пробоподготовке, за выполнение анализа концентраций  $^{210}\text{Pb}$  — И.Я. Попову.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Макунина Г.С. Геоэкологические особенности Карабашской техногенной аномалии // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. 2001. № 3. С. 221-226.
2. Нестеренко В.С. Карабашская техногенная система // Проблемы экологии Южного Урала. 1997. № 3. С. 4-13.
3. Степанов А.М., Кабиров Р.Р., Черненькова Т.В., Садыков О.Ф., Ханисламова Г.М., Некрасова Л.С., Бутусов О.Б., Бальцевич Л.А. Комплексная экологическая оценка техногенного воздействия на экосистемы Южной тайги. Москва: ЦЕПЛ, 1992. 246 с.
4. Udachin, V.N., Williamson, B.J., Purvis, O.W., Spiro, B., Dubbin, W., Herrington, R.J., Mikhailova, I. Assessment of environmental impacts of active smelter operations and abandoned mines in Karabash, Ural Mountains of Russia // *Sust. Devel.* 2003. V. 11. P. 1-10.
5. Williamson, B.J., Udachin, V., Purvis, O.W., Spiro, B., Cressey, G., Jones, G.C. Characterisation of airborne particulate pollution in the Cu smelter and former mining town of Karabash, South Ural mountains of Russia // *Environ. Monit. Assess.* 2004. V. 98. P. 235-259.
6. Appleby, P.G. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last WM, Smol J.P. (eds.) // *Tracking environmental change using lake sediments, Developments in Paleoenvironmental Research.* Kluwer, Dordrecht, 2001. V. 1. P. 171-204.
7. Schettler, G., Mingram, J., Negendank, J., Jiaqi, L. Palaeovariations in the East-Asian Monsoon regime geochemically recorded in varved sediments of Lake Sihailongwan (Northeast China, Jilin province). Part 2: a 200-year record of atmospheric lead-210 flux variations and its palaeoclimatic implications // *J. Paleolimn.* 2006. V. 35. P. 271-288.
8. Shotbolt, L., Hutchinson, S., Thomas, A.D. Sediment stratigraphy and heavy metal fluxes to reservoirs in the southern Pennine uplands, UK // *J. Paleolimn.* 2006. V. 35. P. 305-322.
9. Couillard, Y., Courcelles, M., Cattaneo, A., Wunsam, S. A test of the integrity of metal records in sediment cores based on the documented history of metal contamination in Lac Dufault (Quebec, Canada) // *J. Paleolimn.* 2004. V. 32. P. 149-162.