

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.033
УДК 504.5

З. И. Слуковский

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН,
Апатиты, Россия
Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, Россия

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ И ФОРМЫ ИХ НАХОЖДЕНИЯ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ САПРОПЕЛЕПРОДУКТИВНЫХ ОЗЕР РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИЯ

Аннотация

Рассмотрены особенности накопления тяжелых металлов в современных донных отложениях (сапропелях) малых озер южной части Республики Карелия. Выявлены приоритетные загрязнители водной среды региона как для урбанизированных районов, так и для условно-фоновых зон. Установлено распределение основных форм загрязнителей в толще донных отложений, что имеет важную практическую значимость, учитывая возможную миграцию тяжелых металлов по трофическим цепям и аккумуляцию их в живых организмах.

Ключевые слова:

тяжелые металлы, формы загрязнителей, сапропель, малые озера, Республика Карелия.

Z. I. Slukovskii

Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, Apatity, Russia
Institute of Geology of KarRC RAS, Petrozavodsk, Russia

HEAVY METALS AND THEIR FRACTIONS IN SAPROPELS OF LAKES OF THE REPUBLIC OF KARELIA

Abstract

The features of accumulation of heavy metals in recent sediments in small lakes in the southern part of the Republic of Karelia were considered. The most significant pollutants of the water environment of the region are revealed. This was done for the background and urban territories. The main forms of heavy metals were assessed. These studies play an important practical role because heavy metals can migrate through trophic chains of living organisms.

Keywords:

heavy metals, fractions of pollutants, sapropel, small lakes, the Republic of Karelia.

Введение

Сапропель — это озерные биогенные отложения с содержанием органического вещества более 15 % в пересчете на сухую массу (Курзо, 2005). Несмотря на то что под это определение подходит значительное количество современных пресноводных осадочных образований, термин «сапропель» чаще всего используется при обозначении практической значимости донных отложений (ДО) для народного хозяйства. Сапропель используется в земледелии, животноводстве и птицеводстве, мелиоративном строительстве и промышленности строительных материалов, в медицине, буровой технике, разработке современных биотехнологий. К одним из наиболее перспективных направлений применения сапропеля и/или сорбционных материалов на его основе относится детоксикация разного рода поллютантов в почвах, почвогрунтах, воде и других средах, загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) и другими экологически опасными веществами (Кирейчева, Хохлова, 2004; Курзо, 2005; Хлынина, 2008).

На территории Карелии сапропели являются самыми распространенными типами ДО малых и средних озер региона. Наибольшей изученностью

сапропелепродуктивных водоемов характеризуется южная часть республики (Синькевич, Экман, 1995; Минерально..., 2006). Из всех карельских озер (около 61 тысячи) только на 215 водоемах были проведены геологоразведочные работы по оценке запасов сапропеля. Специалистами отмечается крайне низкая изученность озерного сапропеля Карелии: 8,3 % запасов этого полезного сырья (от общих запасов) разведано детально по категории А, 31,1 % — по категории С2 и 60,6 % оценено прогнозно (Р1 и Р2) (Минерально..., 2006).

Согласно изученным фондовым материалам, специалистами, проводившими изучение сапропелевых залежей Карелии, оценены такие показатели, как глубина водоема, мощность полезной толщи, зольность, рН, концентрации Са и Fe. Многие из важных показателей остались неизученными. К ним относится содержание ТМ. При этом проблема накопления ТМ в ДО малых водных объектов носит масштабный характер, в том числе и на Европейском Севере России (Даувальтер, 2006). Таким образом, цель работы — оценить уровень накопления и формы нахождения ТМ в поверхностных слоях озерных отложений (сапропелей) южной части Республики Карелии.

Объекты и методы

Учитывая, что наибольшее накопление ТМ в современных отложениях озер отмечается в верхних слоях (Даувальтер, 2006), автором были проведены исследования верхних слоев ДО десяти озер южной части Республики Карелии (рис. 1) по единой методике. Отбор проб осуществлялся при помощи пробоотборника Limnos, что позволяло разделять колонку ДО на слои по 2 см. После просушки и истирания образцов они были разложены смесью сильных кислот до образования гомогенных растворов, в которых и определялось содержание ТМ при помощи масс-спектрометра с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS). Подробная методика подготовки проб и их химического анализа описана в (Слуковский, 2015).



Рис. 1. Район исследований

Fig. 1. Study area

Результаты и обсуждение

Исследования малых озер, расположенных в разных районах южной части Карелии, показали, что все водоемы в той или иной степени загрязнены ТМ. Превышения уровня накопления некоторых элементов (например, Pb — рис. 2) над фоновым уровнем наблюдается даже в случае малых озер, которые не имеют рядом прямых источников загрязнения. Отмечается, что дальний трансграничный перенос загрязняющих веществ вносит значительный вклад в накопления Pb, Cd, Sb, Sn, Tl, Bi в верхних слоях ДО малых озер (Michinobu et al., 2013). На урбанизированных территориях накопление Pb также связывается с активным использованием этилированного бензина с 1930-х по 2000-е гг. (Hosono et al., 2016). В настоящее время от него отказалось подавляющее большинство стран мира.

Из рисунка 2 видно, что наибольшее накопление Pb отмечается в ДО озера города Петрозаводска (Ламба, Четырехверстное), озера Плотичье (г. Медвежьегорск) и озера Кайпинского (г. Суоярви). Кроме того, Pb имеет значительный уровень накопления в озерах Лиункунлампи и Юконлампи, которые расположены на фоновой территории, но, по-видимому, находятся в зоне воздействия выбросов промышленных предприятий г. Санкт-Петербурга, Ленинградской области и Финляндии. Аналогичные закономерности поведения Pb ранее отмечались при исследовании малых озер в приграничной зоне между Финляндией и Российской Федерацией (Verta et al., 1998; Slukovskii et al., 2020). По всем изученным водным объектам отмечается тесная корреляция между Pb и Cd, Pb и Sb (рис. 3), Pb и Tl, что позволяет утверждать, что в результате трансграничного переноса ТМ малые озера загрязняются широким спектром химических элементов, относящихся к числу наиболее опасных для водной биоты.

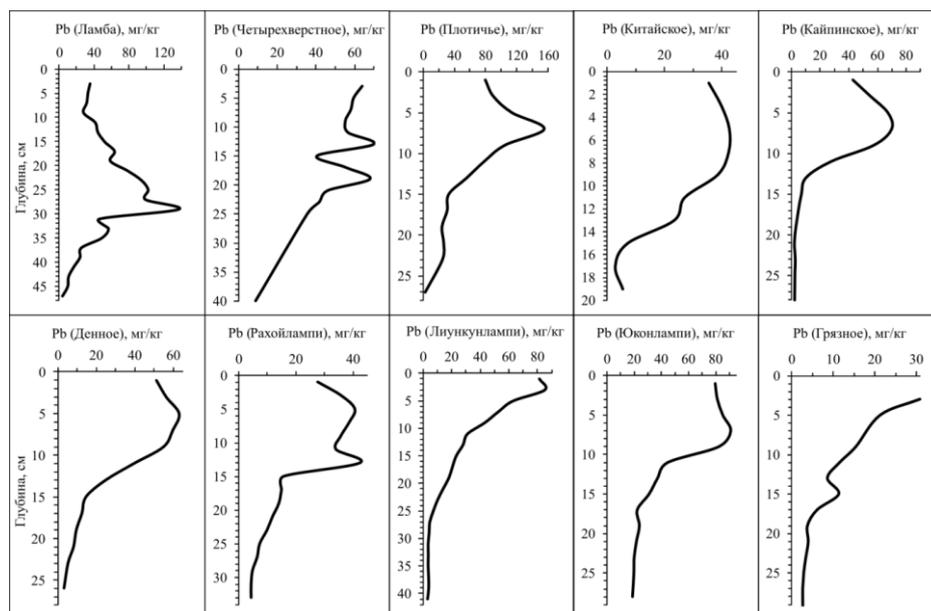


Рис. 2. Уровень накопления Pb в верхних слоях (до 50 см) ДО малых озер южной части Республики Карелия

Fig. 2. The level of Pb accumulation in the upper layers (0–50 cm) of the sediments of small lakes of the south part of the Republic of Karelia

Для ДО озер урбанизированных территорий Карелии приоритетными загрязнителями считаются Pb, Sb, Cd, V, Zn, Cu, Ni, Cr, Mo и некоторые другие. В частности, в ДО оз. Ламба (г. Петрозаводск) установлены локальные экстремальные превышения над фоном по V, Ni и Cr, поступающих в экосистему водоема в результате деятельности теплоцентрали (ТЭЦ), а аномалии Co, Cu, Zn, Sr, Mo, Sn в толще озерных осадков оз. Ламбы отражают воздействие на экосистему водоема предприятий машиностроительного комплекса (Слуковский и др., 2017).

Анализ форм нахождения ТМ в сапропелевых отложениях изученных озер показал, что в большинстве случаев металлы находятся в минеральной фазе и в форме, связанной с органическим веществом ДО.

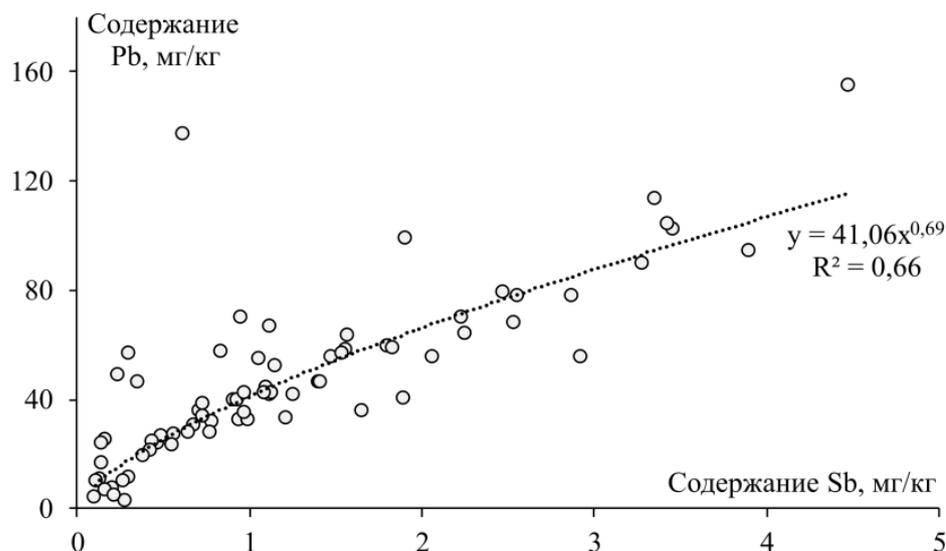


Рис. 3. Взаимосвязь концентраций Pb и Sb в ДО городской среды территории Республики Карелия

Fig. 3. The correlation of Pb and Sb concentrations in sediments of urban environment of the Republic of Karelia

Органика играет ключевую роль для таких элементов, как Cu, Mo, Zn, Pb и др. В ряде случаев отмечается значительная доля подвижных форм ТМ в ДО, составляющая от 10 до 50 % в зависимости от типа отложений и слоя. На рис. 4. показано, что доминирующей формой нахождения Pb в современных ДО оз. Четырехверстного, расположенного в черте г. Петрозаводска, является минеральная фаза, которая составляет от 45 до 66 % от валового содержания этого элемента. В меньшей степени Pb в ДО этого водоема связан с органическим веществом и гидрооксидами железа и марганца, и всего от 3 до 9 % Pb находится в подвижной форме и может создавать экологические риски для водной биоты с точки зрения вторичного загрязнения воды.

Заключение

Результаты исследований ДО десяти малых озер южной части Республики Карелия показали, что в разной степени каждый водоем загрязнен ТМ. Особенно

высокие концентрации металлов отмечаются в верхних слоях отложений — от 0 до 20 см. В городских озерах техногенный слой может составлять более 40 см. Самыми распространенными загрязнителями выступают Pb, Sb, Cd, Tl, Bi, Sn, которые являются агентами дальнего переноса загрязнителей. На урбанизированных территориях на озера могут воздействовать локальные источники (автомобильный транспорт, промышленные предприятия). В тложениях оз. Ламба, расположенного вблизи ТЭЦ г. Петрозаводска, отмечены повышенные концентрации V, Ni и Cr.

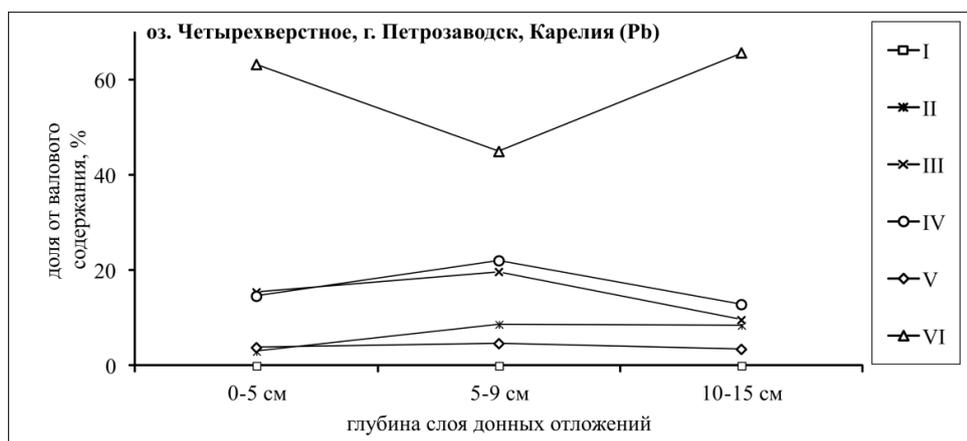


Рис. 4. Графики различных форм Pb в отложениях оз. Четырехверстного (Республика Карелия):

I — водорастворимые формы; II — обменные катионы (подвижные формы); III — формы, связанные с гидроокислами Fe и Mn; IV — формы, связанные с органическим веществом; V — кислоторастворимые (остаточные) формы; VI — минеральные формы

Fig. 4. Share of different fractions of Pb in sediments of Lake Chetyrekhverstnoe: I — water-soluble fractions; II — available (mobile) fractions; III — fractions bound to hydroxides Fe; IV — fractions bound to organic matter; V — acid-soluble (residual) fractions; VI — mineral (silicate) phase

Изучение форм металлов в ДО показало, что большинство загрязнителей находится в минеральной или органик-форме. В меньшей степени ТМ связаны с гидроокислами железа и марганца. При этом до 50 % от валового содержания того или иного металла в ДО может находиться в подвижной форме, которая является наиболее опасной для нормального функционирования экосистемы.

Благодарности

Автор выражает искреннюю благодарность своим коллегам Е. В. Сыроежко, Д. Г. Новицкому и М. А. Медведеву за помощь в отборе проб донных отложений озер, а также О. П. Корытной, А. С. Парамонову, М. В. Эховой и В. Л. Утичиной за качественное проведение аналитических исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 18-05-00897 «а»), а также в рамках проекта государственного задания № АААА-А18-118020690231-1.

Литература

Даувальтер В. А. Халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As) в донных отложениях водных объектов водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова // *Геохимия*. 2006. № 2. С. 237–240.

Кирейчева Л. В., Хохлова О. Б. Восстановление деградированной почвы сапропелем // *Аграрная наука*. 2004. № 5. С. 24–25.

Курзо Б. В. Закономерности формирования и проблемы использования сапропеля. Мн.: Бел. наука, 2005. 224 с.

Минерально-сырьевая база Республики Карелия. Кн. 2. Неметаллические полезные ископаемые. Подземные воды и лечебные грязи. Петрозаводск, 2006. 356 с.

Синькевич Е. И., Экман И. М. Донные отложения озер Восточной части Фенноскандинавского кристаллического щита. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 1995. 177 с.

Слуковский З. И. Нормирование по литию концентраций тяжелых металлов в донных отложениях озер Ладожское и Четырехверстное (Республика Карелия) // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2015. Т. 23, № 4. С. 397–408.

Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В., Гоголев М. А. Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // *Труды Карельского науч. центра РАН*. 2017. № 10. С. 45–63.

Хлынина Н. Г. Использование сапропеля в качестве сорбента для очистки сточных вод: автореф. дис. ... канд. тех. наук. Волгоград, 2008. 24 с.

Hosono T., Alvarez K., Kuwae M. Lead isotope ratios in six lake sediment cores from Japan Archipelago: Historical record of trans-boundary pollution sources // *Science of The Total Environment*. 2016. Vol. 559. P. 24–37.

Michinobu K., Narumi K., Tetsuro A., Kazuhiro T., Yu. T., Shingo U., Shinsuke T., Jotaro U. Sedimentary records of metal deposition in Japanese alpine lakes for the last 250 years: Recent enrichment of airborne Sb and In in East Asia // *Science of the Total Environment*. 2013. No. 442. P. 189–197.

Slukovskii Z. I., Medvedev M. A., Siroezhko E. V. Long-range heavy metal aerosols transport as a factor of the formation of the geochemical characteristics of current lake bottom sediments from the southwestern Republic of Karelia (exemplified by lake Ukonlampi, Lahdenpohja district) // *Journal of Elementology*. 2020. Vol. 25 (1). DOI: 10.5601/jelem.2019.24.1.1816

Verta M., Tolonen K., Simola H. History of heavy metal pollution in Finland as recorded by lake sediments // *Science of the Total Environment*. 1998. No. 87/88. P. 1–18.

Сведения об авторе

Слуковский Захар Иванович

старший научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН; Институт геологии КарНЦ РАН, slukovsky87@gmail.com

Slukovskii Zakhar Ivanovich

Senior Researcher, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS; Institute of Geology of KarRC RAS, slukovsky87@gmail.com