В многолетней динамике стока биогенных веществ р. Березиной зафиксированы как положительные, так и отрицательные тенденции: рост показателя отмечен для аммонийного N, нитратного N и фосфатного P, его снижение – для нитритного N и общего P. В то же время, биогенный сток р. Терюхи характеризуется отчётливым ростом показателей как в годовом периоде, так и в каждую из фаз водного режима. Интенсификация данного процесса, как правило, происходит в летне-осеннюю межень и весеннее половодье, реже – в зимнюю межень.

1. *Заславская М. Б., Стародубов В. В., Вырбанов М. С.* Оценка влияния хозяйственной деятельности на химический состав речных вод // Водные ресурсы. 1991. № 3. С. 76–82.

2. *Кадацкая О. В.* Гидрохимическая индикация ландшафтной обстановки водосборов. Мн.: Наука и техника, 1987. 135 с.

3. *Кадацкая О. В. Санец Е. В., Хомич В. С., Тищиков Г. М.* Пространственно-временная динамика содержания сульфатов в воде реки Березина // Докл. НАН Беларуси. 2003. Т. 47, № 5. С. 98–101.

4. *Кадацкая О. В., Санец Е. В., Селицкая В. В., Русая И. Е.* Содержание минерального фосфора в речных водах бассейна Днепра: пространственно-временной анализ // Природопользование. 2009. Вып. 16. С. 49–56.

5. *Кольмакова Е. Г.* Антропогенные изменения стока растворённых веществ рек бассейна Немана. Мн.: БГУ, 2009. 123 с.

6. Национальная система мониторинга окружающей среды Республики Беларусь: результаты наблюдений, 2015 / Под общей ред. М.А. Ересько. Минск: БелНИЦ «Экология». 2016. 357 с.

7. *Селицкая В. В., Санец Е. В.* Вынос биогенных веществ рекой Березиной (бассейн Днепра) и его антропогенная и условно-природная составляющие // Природопользование. 2016. Вып. 29. С. 57–64.

8. *Селицкая В. В., Санец Е. В., Русая И. Е.* Выявление фонового содержания азота нитратного в речной воде (на примере р. Березины (бассейн Днепра) // Природопользование. 2013. Вып. 23. С. 63–68.

9. *Селицкая В. В.* Трансформация режима фосфора фосфатного в воде малой реки (на примере р. Терюхи бассейна Днепра) // Природопользование. 2013. Вып. 24. С. 52–62.

10. *Скакальский Б. Г.* Антропогенные изменения химического состава воды и донных отложений в загрязняемых водных объектах. СПб.: Гос. гидрол. ин-т, 1996. 68 с.

11. *Фрумин Г. Т., Степанова Е. В.* Природная и антропогенная составляющие биогенного стока р. Невы в Невскую губу // Геология, геоэкология, эволюционная география. СПб.: Эпиграф, 2008. С. 142–145.

12. *Хомич А. А., Красуцкая Е. П., Кадацкая О. В.* Оценка современного гидрохимического фона Белоруссии // Докл. АН БССР. 1983. Т. 27, № 12. С. 1102–1105.

УДК 550.4

СВИНЕЦ В РАЗРЕЗЕ СОВРЕМЕННЫХ ОЗЁРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ (САПРОПЕЛЕЙ) УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ КАРЕЛИИ

З. И. Слуковский[1], А. С. Медведев[1], Д. Г. Новицкий[1, 2], Е. В. Сыроежко[3]

[1] Институт геологии Карельского научного центра РАН, ул. Пушкинская 11, 185910 Петрозаводск, Российская Федерация; slukovsky87@gmail.com

[2] Петрозаводский государственный университет, Институт биологии, экологии и агротехнологий, пр. Ленина 33, 185910 Петрозаводск, Российская Федерация

[3] Петрозаводский государственный университет, Институт лесных, горных и строительных наук, пр. Ленина 33, 185910 Петрозаводск, Российская Федерация

Свинец (Pb) – элемент 14-й группы шестого периода периодической системы химических элементов Д. И. Менделеева с атомным номером 82. Среднее содержание этого металла в литосфере Земли составляет 16 мг/кг. Pb входит в состав 80 различных минералов, важнейшие из них: галенит PbS, церуссит $PbCO_3$, англезит $PbSO_4$. Pb применяется в широком диапазоне областей человеческой деятельности (в производстве, в сельском хозяйстве, в медицине, в геологии и др.), при этом Pb и его соединения токсичны. Особенно ядовиты водорастворимые и летучие соединения этого металла, например, ацетат свинца $Pb(C_2H_3O_2)_4$ и тетраэтилсвинец $(C_2H_5)_4Pb$. Согласно принятой в Российской Федерации классификации химических загрязнителей окружающей среды, Pb относится к тяжёлым металлам (ТМ) первого класса опасности наряду с такими элементами, как Cd, As и Hg. Таким образом, при проведении эколого-геохимических исследований различных территорий, в том числе районов крупных городов и промышленных зон, оценка уровня содержания Pb в поверхностных и подземных водах, почвах, донных отложениях (ДО) водных объектов и живых организмах, связанных с перечисленными компонентами гидро- и литосферы, является первоочередной задачей специалистов, работающих в области охраны окружающей среды.

Цель нашей работы – провести анализ содержания Pb и вертикального распределения его концентраций в разрезе современных ДО, представленных сапропелевыми илами, малых озёр городов Петрозаводска и Медвежьегорска, расположенных в южной части Республики Карелии. В ходе полевых исследований 2015 и 2016 гг. сотрудниками лаборатории геохимии, четвертичной геологии и геоэкологии Института геологии КарНЦ РАН были исследованы разрезы донных отложений трёх малых водоёмов (рис. 1): оз. Ламба, оз. Четырехвёрстное и оз. Плотичье (Мыльное).

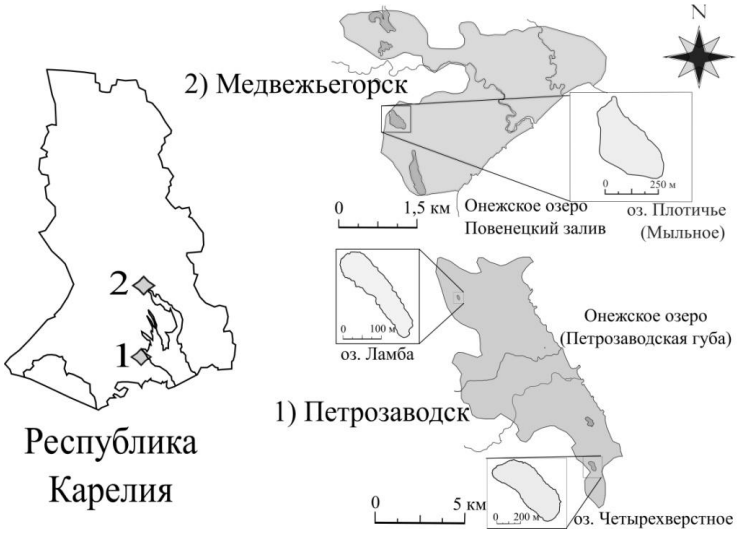

Рисунок 1 – Карта-схема расположения объектов исследования

Отбор проб производился при помощи пробоотборника Limnos для самых верхних слоев озёрных осадков и ручного торфяного бура для более глубоких слоев отложений, подстилающих те, которые недоступны для Limnos'a. Верхняя колонка донных отложений разделялась на слои по 2–5 см, в более глубоких озёрных осадках отбор проводился через 10–50 см. Просушивание образцов проб ДО до воздушно-сухого состояния проводилось в лабораторных условиях. Для достижения максимальной сохранности глинистой фракции жидкая часть пробы просушивалась отдельно – в стеклянных чашках Петри, промытых предварительно дистиллированной водой. Содержание микроэлементов, в т. ч. концентрации Pb, в пробах ДО определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS. Определение содержания макроэлементов было осуществлено при помощи рентген-флуоресцентного спектрометра ARL ADVANT'X. Определение потерь при прокаливании (LOI), которые могут служить хорошей количественной характеристикой содержания органики, проводилось весовым способом после нагревания исследуемых проб до температуры 1 100 °C.

Анализ исследованных ДО указанных выше городских озёр показал, что все они преимущественно относятся к сапропелям – самому распространённому типу пресноводных осадков озёр Республики Карелии с содержанием органического вещества более 15 %. При этом содержание основных (петрогенных) компонентов изученных ДО варьирует в широких пределах, что позволяет разделять их на несколько классов. В оз. Ламба осадки на глубине от 0 до 55 см представлены органо-железистыми и лимонитовыми сапропелями, в которых концентрация суммарного Fe колеблется от 9,1 до 23,8 %. Столь высокое содержание этого элемента в ДО выделяет осадки оз. Ламба на диаграмме (рис. 2), учитывая, что в сапропелях оз. Четырехвёрстного (Петрозаводск) и оз. Плотичье (Медвежьегорск) концентрация суммарного Fe составляет от 2,2 до 8,3 % и от 1,0 до 5,0 %, соответственно.

В оз. Четырехвёрстном исследованные ДО на глубине от 0 до 26 см представлены органо-силикатными и органо-железистыми сапропелями, при этом граница между указанными типами отложений прослеживается на глубине 14 см от поверхности дна водоёма. Содержание оксида Si в ДО этого озера составляет от 33,4 до 48,2 % (среднее – 43,0), что несколько выше содержания этого компонента в других изученных нами ДО. Среднее содержание SiO_2 в осадках оз. Ламба составляет 20,9 %, в ДО оз. Плотичье – 27,4 %. В осадках оз. Плотичье на глубине от 0 до 30 см отмечено самое значительное содержание органического вещества, концентрация которого достигает 76,4 % (среднее – 57,3), среди всех исследованных городских озёрных отложений. Указанные ДО относятся к

классам органических и органо-силикатных сапропелей. Для всех исследованных ДО городских водоёмов Карелии характерно невысокое содержание CaO (в среднем по всем пробам 1,71 %), что связано со слабым распространением карбонатных пород на территории региона, а основными источниками Ca в поверхностных водах и ДО Карелии служат силикатные минералы. Кроме того, все исследованные озёрные осадки характеризуются реакцией pH от слабокислой до слабощелочной, причём увеличение данного показателя отмечается в верхних слоях колонок изученных ДО, что связано с влиянием антропогенного фактора на физико-химические параметры компонентов городской среды. Этот утверждение находит отражение и в накоплении ТМ, в том числе Pb [2], в ДО исследованных озёр гг. Петрозаводска и Медвежьегорска (рис. 3, 4).

Наибольшее содержание Pb в осадках оз. Ламба (>100 мг/кг) отмечено на глубине от 21 до 35 см (рис. 3). При этом фоновый уровень этого элемента для ДО данного озера почти в 40 раз ниже максимальной концентрации Pb в изученной колонке городских осадков. В ДО оз. Плотичье экстремально высокое содержание Pb отмечено на глубине 6–8 см, минимальное (фоновое) значение, которое почти в 60 раз ниже максимума, установлено в самой нижней части исследованного разреза.

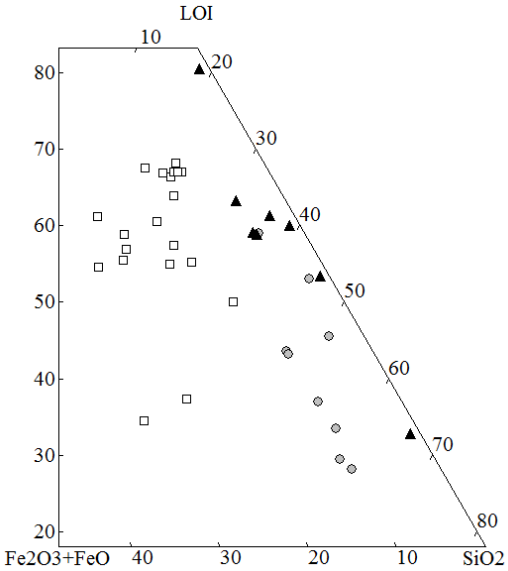

Рисунок 2 – Треугольная диаграмма соотношения общего Fe, кремнезёма и органического вещества в сапропелях озёр Ламба (квадраты), Четырехвёрстное (круги) и Плотичье (треугольники)

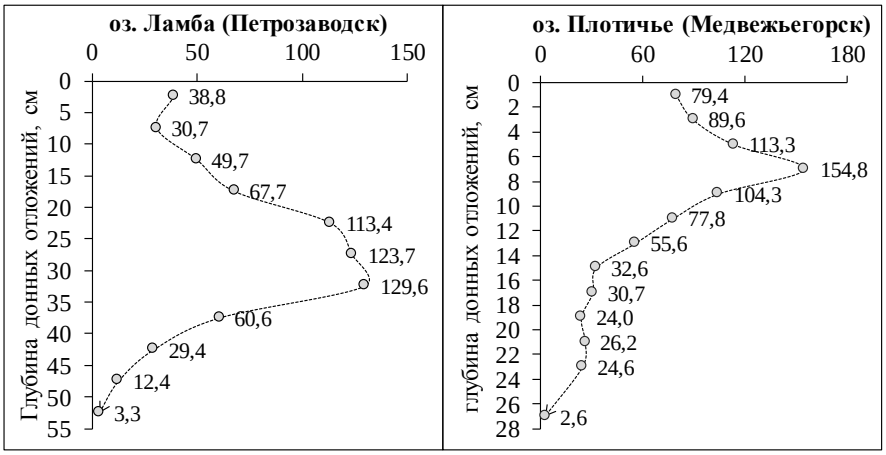

Рисунок 3 – Распределение концентраций Pb в сапропелях оз. Ламба и оз. Плотичье, мг/кг

В верхней части исследованной колонки ДО оз. Четырехвёрстного установлено два почти равнозначных «пика» аномально высоких концентраций Pb, приуроченных к глубинам 12–14 см и 18–20 см (рис. 4). При этом все осадки изученного разреза современных отложений озера до глубины 26 см имеют повышенный уровень содержания Pb в ДО. Детальная оценка фонового уровня накопления Pb в ДО оз. Четырехвёрстного позволила установить значительную вариабельность полученных данных, что связано со сменой условий накопления сапропеля (глубины от 30 до 280 см) и сменой типа отложений – с глубины 280 см начинаются глинистые отложения. Медианное фоновое содержание Pb в сапропеле озера равно 8,4 мг/кг, в глине, подстилающей сапропель,– 15,3 мг/кг.

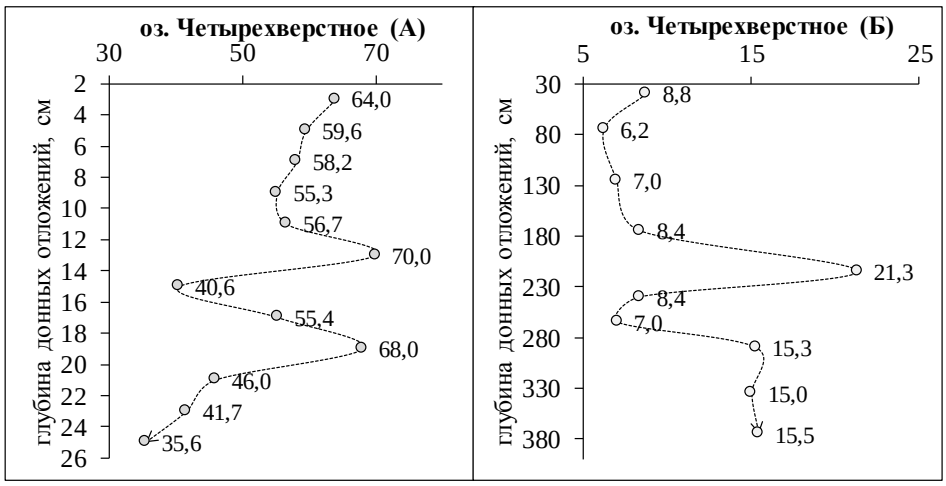

Рисунок 4 – Распределение концентраций Pb в ДО (в т. ч. сапропелях) оз. Четырехвёрстного (А – верхняя часть разреза, Б – нижняя часть разреза), мг/кг

Очевидно, основным антропогенным фактором, повлиявшим на образование аномально высоких концентраций Pb в современных осадках озёр гг. Петрозаводска и Медвежьегорска, является деятельность автомобильного транспорта, учитывая, что с 20–30-х годов прошлого века вплоть до начала 2000-х годов во многих странах мира (в том числе в СССР/России) в моторное топливо добавлялся тетраэтилсвинец, служивший как антидетонирующая присадка для бензина. Пик общемировых выбросов Pb в атмосферу пришёлся на 1960–70-е гг. [3]. Отмечается также влияние глобального свинцового загрязнения, вызванного активным развитием промышленности в европейских странах, в частности металлургического производства [1]. С «пиками» концентраций Pb в ДО городских озёр Карелии в слоях, исследованных при помощи Limnos'а, может быть связан также интенсивный рост промышленных предприятий после Великой Отечественной Войны, принимая во внимание тот факт, что в г. Петрозаводске в советское время располагалось несколько крупных промышленных предприятий (Онежский тракторный завод, ПетрозаводскМаш, ТЭЦ), некоторые из них действуют до сих пор. Кроме того, через гг. Петрозаводск и Медвежьегорск проходят пути Октябрьской железной дороги, ведущей через всю Карелию в г. Мурманск. Оба города являются также портами на Онежском озере – втором по величине водоёме Европы.

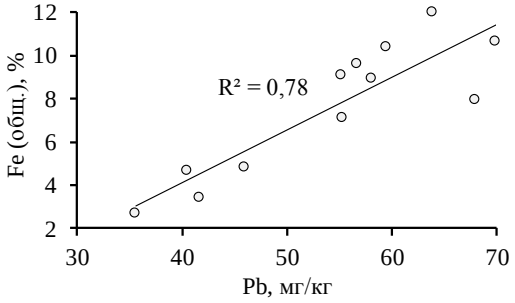

Рисунок 5 – Взаимосвязь концентраций суммарного Fe и Pb в верхней части разреза ДО оз. Четырехверстного (Петрозаводск, Карелия)

Интересно отметить, что вариации концентраций Fe в ДО оз. Ламба никак не отразились на закономерностях накопления Pb, график вертикального распределения которого имеет плавный U-образный вид (рис. 3). С другой стороны, в осадках оз. Четырехвёрстного отмечается тесная корреляция между Fe и Pb (рис. 5), а резкие колебания концентраций Pb приходятся на глубину ДО от 12 до 18 см, где происходит переход от органо-силикатного к органо-железистому сапропелю. Приведённые факты можно объяснить, вероятно, тем, что повышение уровня содержания Fe в ДО оз. Четырехвёрстного связано с антропогенным воздействием на водный объект, а ожелезнение отложений оз. Ламба – природное явление, вызванное влияние подземных вод на формирование химического состава указанного городского водоёма. Таким образом, логично предположить, что природные формы нахождения Fe менее подвержены комплексообразованию с загрязнителями, например Pb, чем формы нахождения Fe, чьё происхождение связано с техногенным воздействием со стороны города.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-35-00026 мол_а

1. *Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б.* Тенденции изменения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озёр Севера Фенноскандии в последние столетия // Тр. Карельского науч. центра РАН. 2015. № 9. С. 62-75.

2. *Слуковский З. И., Медведев А. С.* Содержание тяжелых металлов и мышьяка в донных отложениях озёр Четырехвёрстного и Ламба (г. Петрозаводск, Республика Карелия) // Экологическая химия. 2015. № 1. С. 56–62.

3. *Nriagu J. O.* The rise and fall of leaded gasoline // Sci. of The Total Environ. 1990. Vol. 92. P. 13–28.

УДК 550.4

ОЦЕНКА ГИДРОХИМИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОДОХРАНИЛИЩА СТАЙКИ

М. И. Струк, С. Г. Живнач, Г. М. Бокая

Институт природопользования НАН Беларуси, ул. Скорины 10, 220114 Минск, Республика Беларусь; geosystem1@rambler.ru

Природные процессы в совокупности с факторами антропогенного воздействия формируют качество природных вод. Естественным состоянием водоёмов является наличие в растворённом виде минеральных веществ, количество и качество которых зависит в первую очередь от характера подстилающих пород на водосборе, интенсивности биологических процессов и хозяйственной деятельности человека в его пределах.

Качество вод ряда водохранилищ являлось предметом специальных исследований [1, 4, 5], кроме этого экологическое состояние отдельных водохранилищ (Заславское, Дрозды) по гидрохимическим и гидробиологическим показателям регулярно оценивается Республиканским центром радиационного контроля и мониторинга и по бактериологическим показателям – Республиканским центром гигиены, эпидемиологии и общественного здоровья.

Вместе с тем, наблюдения за качеством вод вдхр. Стайки, расположенного в непосредственной близости к г. Минску и активно используемого для рекреации, не проводятся. Целью исследования является оценка гидрохимического состояния вдхр. Стайки. Для оценки качества воды в нём проведены полевые работы в 2009–2016 гг. по отбору проб воды из водохранилища и р. Тростянки, на которой оно построено, выше и ниже водохранилища. Проанализировано качество вод водохранилища и реки по гидрохимическим показателям. Оценка химического состава вод осуществлялась по таким показателям как концентрация основных ионов, биогенных элементов, уровень кислотности, содержание взвешенных веществ.

Факторы, определяющие предпосылки загрязнения водоёма Стайки, представляют собой достаточно неблагоприятное сочетание для возможного загрязнения водоёма. Вдхр. Стайки характеризуется небольшим объёмом, средним показателем водообмена и малой средней глубиной. Стадия развития вдхр. Стайки определена как высокоэвтрофное с признаками антропогенного загрязнения. Среди всех пригородных водохранилищ вдхр. Стайки испытывает наиболее сильную антропогенную нагрузку, связанную с высокой застроенностью (30 %) и сельскохозяйственной освоенностью территории (47 %), что выступает одним из факторов формования качества вод вдхр. Стайки и проявляется в химическом составе вод.