

Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2015 году: Ежегодник / составитель М. Н. Каткова. Обнинск, 2016.

Российское атомное сообщество // Технологии. URL: <http://www.atomic-energy.ru/technology/55260> (дата обращения: 11.03.2019).

Титаева Н. А. Ядерная геохимия. М.: МГУ, 2000. 336 с.

Сведения об авторах

Гусева Александра Сергеевна

младший научный сотрудник лаборатории геоинформатики, ИГЕМ РАН,
alexandra.guseva2011@yandex.ru

Устинов Степан Андреевич

кандидат геолого-минералогический наук, научный сотрудник лаборатории геоинформатики, ИГЕМ РАН, stevesa@mail.ru

Петров Владислав Александрович

доктор геолого-минералогический наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, ИГЕМ РАН, vlad243@igem.ru

Guseva Alexandra Sergeevna

Junior Researcher, Laboratory of Geoinformatics, IGEM RAS,
alexandra.guseva2011@yandex.ru

Ustinov Stepan Andreevich

PhD (Geology & Mineralogy), Researcher, Laboratory of Geoinformatics, IGEM RAS,
stevesa@mail.ru

Petrov Vladislav Aleksandrovich

Doctor of Sciences (Geology & Mineralogy), Professor, Corresponding Member of RAS,
Director, IGEM RAS, vlad243@igem.ru

DOI: 10.25702/KSC.2307-5252.2019.6.012

УДК 502.51(285) (470.21)

В. А. Даувальтер

Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты,
Россия

ДОЛГОВРЕМЕННЫЙ МОНИТОРИНГ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ОЗЕР СЕВЕРА ФЕННОСКАНДИИ

Аннотация

Детальные исследования экологического состояния водных экосистем Северной Фенноскандии, в том числе донных отложений водоемов, проводятся ИППЭС КНЦ РАН в течение 30 лет, с момента образования института в 1989 г. Исследования проводились с целью оценки аккумуляции и распределения тяжелых металлов в отложениях водоемов. Рассматривались четыре аспекта изучения химического состава отложений: 1) фоновые концентрации; 2) вертикальное распределение; 3) концентрации в поверхностных слоях отложений; 4) определение интенсивности антропогенного воздействия с помощью коэффициента и степени загрязнения, создаваемого тяжелыми металлами, накопленными в донных отложениях.

Ключевые слова:

Северная Фенноскандия, озера, донные отложения, тяжелые металлы, оценка экологического состояния.

V. A. Dauvalter

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

LONG-TERM MONITORING OF CHEMICAL COMPOSITION OF LAKE SEDIMENTS OF THE NORTHERN FENNOSCANDIA

Abstract

Detailed researches of the ecological states of water ecosystems including sediments of reservoirs of the Northern Fennoscandia have been carried out by INEP KSC RAS over the thirty year span, from the moment of INEP foundation in 1989. Researches were conducted to assess the accumulation and distribution of heavy metals in sediments of the reservoirs. Four aspects of studying sediments, were considered: 1) background concentration, 2) vertical distribution, 3) concentration in superficial sediments, 4) determination of intensity of anthropogenous influence by means of factor and degree of the contamination created by heavy metals accumulated in sediments.

Keywords:

Northern Fennoscandia, lakes, sediments, heavy metals, environmental assessment.

Введение

Регионы Европейской Арктики и Субарктики имеют специфические особенности формирования химического состава воды и донных отложений (ДО) водоемов. Поведение техногенно-внесенных веществ в высоких широтах отличается в силу климатических и ландшафтно-географических особенностей, а их токсичные свойства проявляются более активно в низкоминерализованных и низкотемпературных водах, вследствие низкой скорости массо-энергообмена, специфических физико-химических условий и более низкой биомассы водных экосистем Субарктики по сравнению с таковыми умеренных широт (Моисеенко и др., 1997).

Почти вековая эксплуатация богатых и уникальных месторождений полезных ископаемых (медно-никелевых, железных, апатитонегелиновых, редкометалльных руд, угольных и нефтегазовых месторождений и т. д.) на территории Европейской Арктики и Субарктики привела к созданию здесь сложной экологической обстановки.

Целью данной работы является выявление тенденций изменения химического состава ДО пресноводных субарктических и арктических водоемов в современных условиях под влиянием природных и антропогенных факторов.

Материалы и методы исследований

Исследования химического состава ДО водоемов северо-западной части Мурманской области и приграничной территории между Россией, Норвегией и Финляндией сотрудниками ИППЭС КНЦ РАН проводятся в течение 30 лет, со времени организации института (1989 г.). Наибольшее количество результатов было получено во время проведения совместных российско-норвежско-финляндских исследований по изучению состояния окружающей среды приграничной территории. Эти исследования можно разделить на три периода с разницей примерно в десять лет.

1. В 1989–1993 гг. проводились междисциплинарные исследования в рамках совместного проекта, в котором участвовали ИППЭС, Lapland ELY-centre (Лапландский центр окружающей среды, Финляндия) и NIVA (Норвежский институт водных исследований) (Traaen et al., 1991; Rognerud, 1990; Rognerud et al., 1993; Moiseenko et al., 1993, 1995; Dauvalter, 1992, 1994, 1997, 1998, 2003,

Dauvalter, Rognerud, 2001; Kashulin et al., 2001; Lukin et al., 2003; Norton et al., 1992, 1996; Моисеенко и др., 1998; Даувальтер, 1995, 1997, 1998, 2000, 2002; Лукин и др., 1998).

2. В 2002–2004 гг. содержание и поведение металлов в ДО водоемов исследовалось в рамках проекта Интеррег ША Коларктик «Развитие и реализация мониторинга окружающей среды и программа оценки в приграничном районе между Финляндией, Норвегией и Россией» (State..., 2007; Dauvalter, Sandimirov, 2007);

3. В 2010–2014 гг. (рис. 1) исследования химического состава воды и ДО проводились в рамках совместного проекта «Закисление и тяжелые металлы в озерах приграничной территории между Россией, Финляндией и Норвегией: состояние и тренды» (Dauvalter et al., 2011; Amundsen et al., 2011; Rognerud et al., 2013; Даувальтер, Кашулин, 2014).



Рис. 1. Карта-схема исследуемых озер в 2012–2014 гг.

Fig. 1. Map of the investigated lakes in 2012–2014

Приграничная территория между Россией, Норвегией и Финляндией испытывает серьезное антропогенное влияние, в том числе со стороны комбината «Печенганикель». Озеро Куэтсьярви и нижние течения р. Пасвик принимают сточные воды металлургических и сопутствующих производств, расположенных в п. Никель. Вся система р. Пасвик, а также озера и реки данного района, в нее не входящие, подвергаются загрязнению посредством атмосферных выпадений. К основным загрязняющим веществам относятся соединения серы и тяжелых металлов (ТМ) — Ni, Cu, Cd, Cr, Zn, As, Hg и др., полициклические ароматические

углеводороды (ПАУ) и стойкие органические загрязнители (СОЗ). Выбросы диоксида серы с комбината приводят к закислению поверхностных вод и их загрязнению вследствие интенсификации процессов выщелачивания элементов из горных пород (Моисеенко и др., 1998).

Исследования проводились с целью оценки аккумуляции и распределения ТМ в ДО водоемов. При изучении ДО рассматривались четыре аспекта: 1) фоновые концентрации; 2) вертикальное распределение; 3) концентрации в поверхностных ДО; 4) определение интенсивности антропогенного влияния по показателям коэффициента и степени загрязнения, создаваемого ТМ, накопленными в ДО, по методике Л. Хокансона (Håkanson, 1980), адаптированной для условий приграничной территории.

Результаты исследований и их обсуждение

Было установлено, что наибольшие фоновые концентрации большей части ТМ (Ni, Zn, Co, Cd, Hg, As) характерны для южной части оз. Куэтсъярви, принимающего сточные воды комбината «Печенганикель», а также для озер, расположенных в непосредственной близости к городу Заполярному и пос. Приречному. Это обусловлено геохимическими особенностями водосборных территорий озер, на которых находятся медно-никелевые сульфидные залежи. Фоновые концентрации ТМ в ДО исследуемых озер довольно непостоянны, что отражает значительные вариации в литологии и геохимии коренных и четвертичных пород и покрывающих их почв, в соотношении площади озера и его водосбора, т. е. основных условий формирования химического состава ДО озер. Средние фоновые концентрации ТМ в ДО водоемов северо-запада Мурманской области по результатам исследований в различные годы подобны (табл.), хотя отмечаются некоторые расхождения, но они, как правило, не более 10 %, что совпадает со значением аналитической ошибки.

Фоновые средние (\bar{X}), минимальные (min), максимальные (max) концентрации элементов (мкг/г сух. веса) и стандартные отклонения (s_n) в ДО исследованных озер северо-запада Мурманской области, определенные по результатам исследований в различные годы

Background averages (\bar{X}), minimum (min), maximum (max) element concentrations ($\mu\text{g/g}$ dry weight) and standard deviations (s_n) in sediments of the investigated lakes in the north-west of the Murmansk region, determined by the results of studies in different years

Элемент	1989–1993 гг.				2002–2004 гг.				2010–2014 гг.			
	\bar{X}	min	max	s_n	\bar{X}	min	max	s_n	\bar{X}	min	max	s_n
Ni	33	10	83	20	32	12	72	19	36	8	85	20
Cu	36	6	81	23	33	9	68	18	36	8	66	15
Co	14	5	42	11	16	4	40	11	18	5	36	10
Zn	91	33	185	49	101	47	173	35	100	48	181	37
Cd	0,80	0,25	2,51	0,78	0,17	0,06	0,40	0,09	0,17	0,06	0,50	0,09
Pb	3,8	0,5	15,0	4,1	3,2	0,7	9,2	2,3	3,8	0,8	9,4	2,3
As	–	–	–	–	4,6	0,7	13,7	4,2	5,0	0,8	22,1	5,8
Hg	0,040	0,016	0,110	0,032	0,037	0,003	0,111	0,025	0,050	0,008	0,146	0,033

Несовпадения в рассчитанных величинах средних фоновых концентраций ТМ могут быть связаны с тем, что перечень озер, из которых производился отбор ДО в различные годы, полностью не совпадал, хотя большая часть озер исследовалась в течение 30 лет, особенно вблизи источников загрязнения.

Средние скорости осадконакопления в озерах северо-запада Мурманской области и северных районов Норвегии и Финляндии за последние полтора столетия довольно постоянны и находятся в пределах 0,3–0,6 мм/год (Norton et al., 1996). Скорость осадконакопления в оз. Куэтсьярви оценивается равной 1–2 мм/год (Даувальтер, 2002). Увеличение содержания Ni, Cu и Co в ДО озер, в которых проведено датирование, обычно обнаруживалось в слоях, возраст которых оценивается 1920-ми и 1930-ми гг. как результат начала металлургической деятельности в этом регионе (рис. 2). С увеличением расстояния от комбината «Печенганикель» уменьшаются концентрации Ni и Cu в поверхностных слоях ДО и снижается разброс содержаний в целом по колонке. Значительное увеличение концентраций Pb датируется концом XIX — началом XX вв. С увеличением расстояния от комбината «Печенганикель» Pb становится одним из основных загрязнителей. Особенно это характерно для финляндских озер. Маркерами загрязнения водосборных бассейнов служат также As и Cd, начало загрязнения, которыми датируется серединой XIX в. (рис. 3).

Пылевые выбросы в атмосферу плавильных цехов комбината «Печенганикель» являются главным источником повышенных концентраций Ni, Cu и Co (в 10–180 раз больше фоновых значений) в поверхностных слоях ДО на расстоянии до 30–40 км. Наибольшие концентрации Ni и Cu, превышающие фоновые значения в 10–25 раз, отмечены в озерах на расстоянии до 10 км от комбината (рис. 4). Значительное уменьшение концентраций до 3–7 фоновых значений наблюдается на расстоянии до 20–30 км от источника загрязнения. В распределении Co и Cd наблюдается аналогичная закономерность. Наиболее интенсивно загрязняется зона до 10 км. Здесь отмечено превышение концентраций металлов над фоновыми значениями от 2 до 5 раз. По мере удаления от комбината на 20–30 км наблюдается уменьшение концентраций металлов до 2–3 фоновых значений.

Подобная закономерность наблюдается в распределении As и Hg. В распределении Pb по результатам исследований 2010 г. впервые отмечена тенденция увеличения содержания в поверхностных слоях ДО по мере приближения к комбинату. Ранее в региональном распределении Pb была отмечена отличная от всех ТМ картина — увеличение концентраций с востока на запад.

В целом по результатам исследований 2010–2014 гг. отмечено увеличение концентраций практически всех загрязняющих ТМ в поверхностных слоях ДО озер северо-запада Мурманской области по сравнению с исследованиями 2002–2004 и 1989–1993 гг., что говорит об усилении антропогенной нагрузки на водосборы озер.

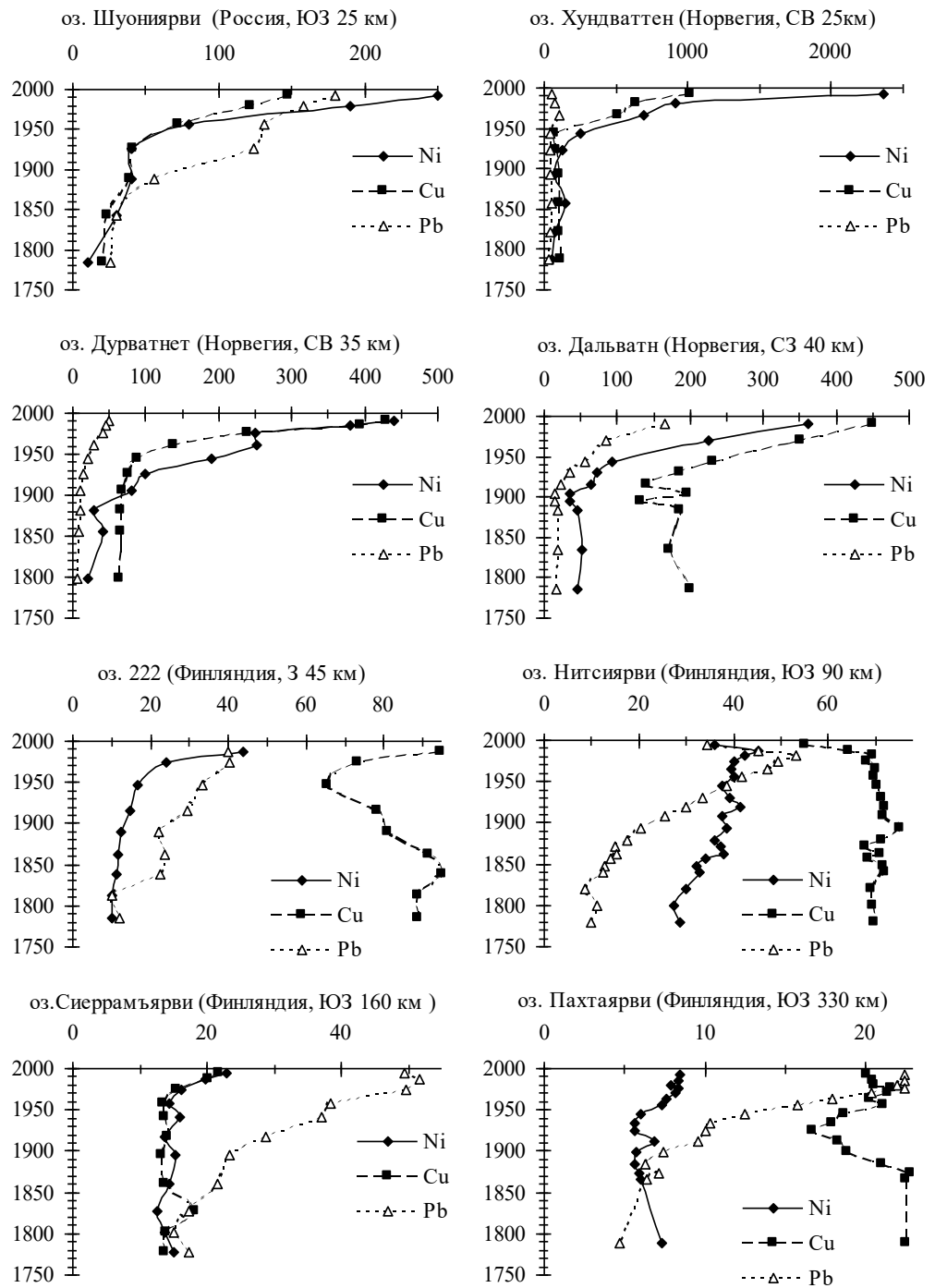


Рис. 2. Концентрации (мкг/г) Ni, Cu, Pb в датированных ДО озер на различном удалении от комбината «Печенганикель»
 Fig 2. Concentrations ($\mu\text{g/g}$) of Ni, Cu, Pb in dated sediments of lakes at different distances from the Pechenganickel plant

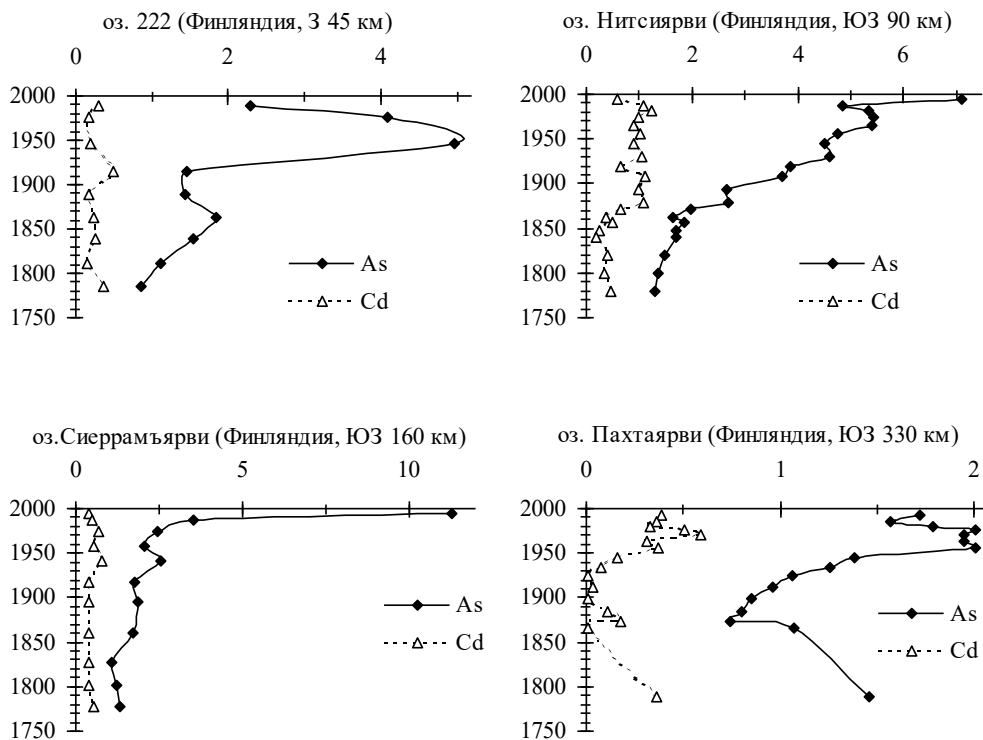


Рис. 3. Концентрации (мкг/г) As и Cd в датированных ДО озер на различном удалении от комбината «Печенганикель»
 Fig. 3. Concentrations ($\mu\text{g/g}$) of As and Cd in dated sediments of lakes at different distances from the Pechenganickel plant

По результатам исследований ДО озер в 2010–2014 гг. очень высокие значения степени загрязнения (C_d) отмечены на расстоянии до 30 км от источников загрязнения, а значительные значения — до 60 км (рис. 5). В озерах, расположенных до 30 км, основной вклад в величину C_d вносят металлы, выбрасываемые в атмосферу комбинатом «Печенганикель» (Ni, Cu, Co), а в более удаленных озерах основными загрязняющими элементами становятся Pb, Cd, Hg и As, которые в последние десятилетия приобрели статус глобальных загрязняющих элементов. Согласно исследованиям 2002–2004 гг. получены результаты, подобные 2010–2014 гг., хотя в последние годы выявлено усиление загрязнения, особенно в ближайшей тридцатикилометровой зоне от комбината. По результатам исследований 1989–1993 гг. в озерах, находящихся в зоне влияния комбината «Печенганикель», очень высокие значения C_d отмечены на расстоянии до 10 км от источников загрязнения, значительные значения — до 15 км, а умеренные — до 40 км.

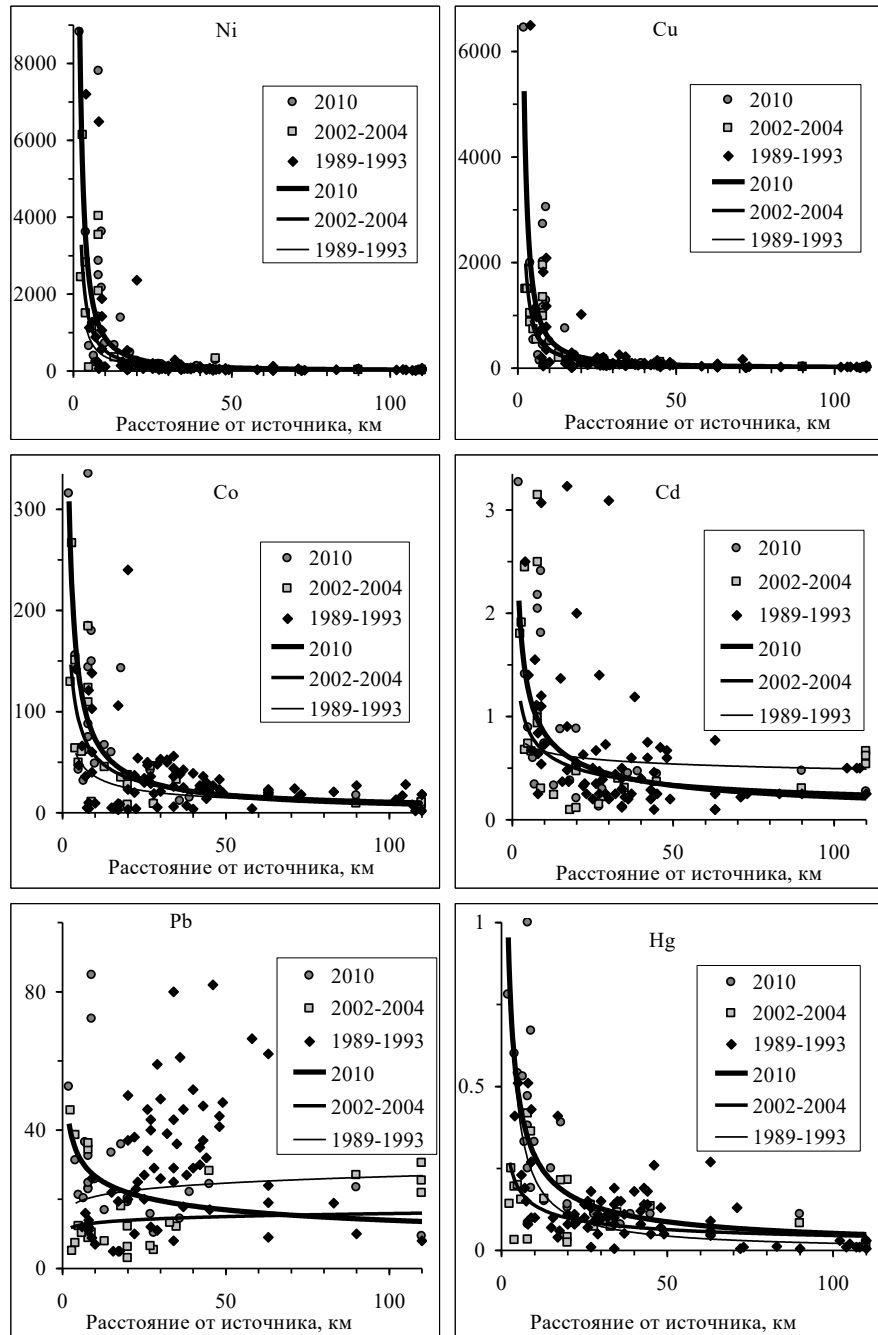


Рис. 4. Распределение концентраций основных загрязняющих элементов ($\mu\text{г/г}$ сухого веса) в поверхностном слое (0–1 см) ДО исследуемых озер по мере удаления от комбината «Печенганикель» в разные годы

Fig. 4. Distribution of concentrations of the main polluting elements ($\mu\text{g/g}$ dry weight) in the surface sediment layer (0–1 cm) of the investigated lakes as they move away from the Pechenganickel plant in different years

Атмосферные выпадения аэрозолей являются главной причиной загрязнения, в том числе и ТМ, наземных и водных экосистем, поверхностных и подземных вод (Яхнин и др., 1997). В фоновых территориях, где в балансе атмосферных выпадений значительная роль принадлежит растворимым формам металлов, с поверхностным стоком выносятся до 5 % поступлений свинца и около 30 % поступлений цинка и кадмия (Елпатьевский, 1993; Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989).

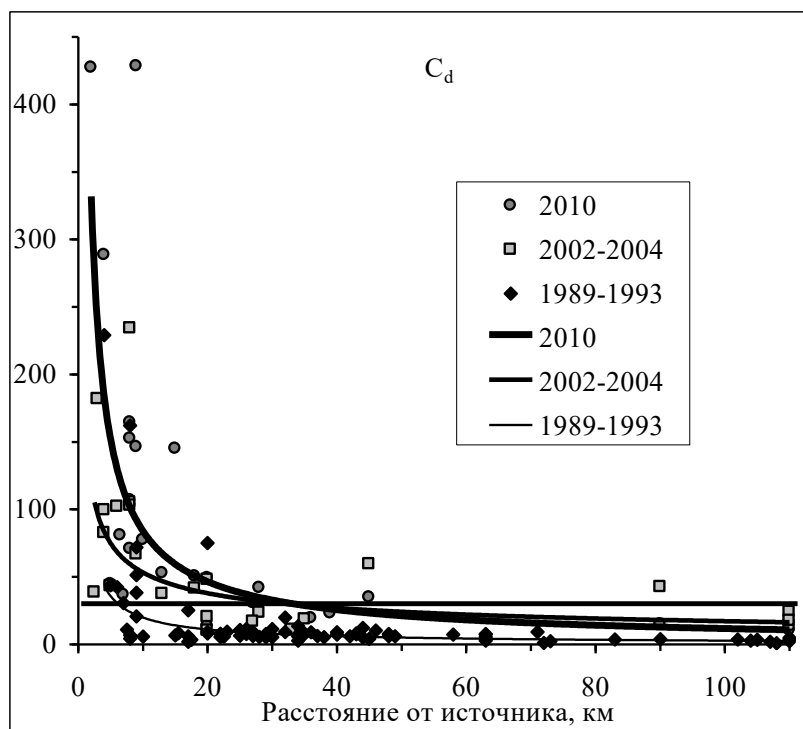


Рис. 5. Распределение значений степени загрязнения (C_d) в озерах на различном расстоянии от комбината «Печenganickель» в разные годы. Прямая линия соответствует высокой степени загрязнения ($C_d \geq 32$)

Fig. 5. The distribution of the values of the degree of pollution (C_d) in the lakes at different distances from the Pechenganickel plant in different years. A straight line corresponds to a high degree of contamination ($C_d \geq 32$)

В условиях техногенного загрязнения, когда существенно увеличивается роль твердофазных выпадений, поверхностный вынос сокращается до 1–3 % поступлений свинца и до 10 % цинка и меди (Елпатьевский, 1993). Остальная часть металлов накапливается в почве. Миграция металлов по почвенному профилю происходит со скоростью 0,1–0,4 см/год и характеризуется быстрым падением концентраций с увеличением глубины (Елпатьевский, 1993; Саг и др., 1990; Cernic et al., 1994). Возможности самоочистки почв от антропогенных накоплений металлов признаются весьма ограниченными (Fridland et al., 1992; De Vries, Banker, 1996; Miller, Fridland, 1994). Согласно вышеуказанным

исследованиям совокупный вынос металлов (поверхностный сток, почвенные растворы, биологические процессы и др.), при условии прекращения новых поступлений из антропогенных источников, обеспечит в зоне умеренного климата самоочищение загрязненных почв от свинца за период от 150–200 до 400–500 лет, от цинка, кадмия за 100–200 лет. Таким образом, период естественного самоочищения почв и наземных экосистем от загрязняющих металлов можно оценить величиной порядка $n \cdot 10^2$ лет (т. е. сотни лет).

Выводы

Таким образом, в результате исследований химического состава ДО озер северо-запада Мурманской области и приграничных районов Норвегии и Финляндии выявлена тенденция усиления антропогенной нагрузки на водосборы озер и на сами озера, несмотря на снижение выбросов и стоков загрязняющих веществ комбинатом «Печенганикель» в последние двадцать лет. Средние выбросы Ni и Cu комбинатом составляли 300 и 200 т/год соответственно, а стоки 5 и 0,2 т/год. За восьмидесятилетний период деятельности в компонентах окружающей среды (главным образом в наземных экосистемах — в почвах и растениях) накопилось огромное количество ТМ, которое после отмирания растений и разложения органических остатков со склоновым стоком, почвенными и подземными водами в виде органических и неорганических соединений постепенно поступает в водотоки и водоемы. С учетом накопленных ТМ в наземных экосистемах и многолетнего периода их самоочищения, интенсивное поступление ТМ в водоемы будет продолжаться еще не один десяток лет, даже если комбинат резко снизит их выбросы в окружающую среду.

Литература

Даувальтер В. А. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях озер Кольского полуострова как индикатор загрязнения водных экосистем // Проблемы химического и биологического мониторинга экологического состояния водных объектов Кольского Севера. Апатиты: КНЦ РАН, 1995. С. 24–35.

Даувальтер В. А. Загрязнение донных отложений водосбора реки Пасвик тяжелыми металлами // Геоэкология. 1997. № 6. С. 43–53.

Даувальтер В. А. Тяжелые металлы в донных отложениях озерно-речной системы озеро Инари — река Пасвик // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25, № 4. С. 494–500.

Даувальтер В. А. Закономерности осадконакопления в водных объектах Европейской Субарктики (природоохранные аспекты проблемы): автореф. дис. ... д-ра. геогр. наук. Апатиты: КНЦ РАН, 2000. 52 с.

Даувальтер В. А. Химический состав донных отложений субарктического озера под влиянием горной металлургии // Известия АН. Серия географическая. 2002ю № 4. С. 65–73.

Даувальтер В. А., Кашулин Н. А. Химический состав донных отложений системы реки Пасвик в условиях глобального и локального загрязнения // Вестник Кольского научного центра РАН. 2014. № 2. С. 106–121.

Елпатьевский П. В. Геохимия миграционных потоков в природных и природно-техногенных системах. М.: Наука, 1993. 253 с.

Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 439 с.

Лукин А. А., Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Раткин Н. Е. Влияние аэротехногенного загрязнения на водосборный бассейн озер Субарктики и рыб // Экология. 1998. № 2. С. 109–115.

Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Родюшкин И. В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). Апатиты: КНЦ РАН, 1997. 127 с.

Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Родюшкин И. В. Механизмы круговорота природных и антропогенных металлов в поверхностных водах Субарктики // Вод. ресурсы. 1998. Т. 25, № 2. С. 231–243.

Саев Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.

Янин Э. Я., Томилина О. В., Деларов Д. А. Атмосферные выпадения тяжелых металлов и их влияние на экологическое состояние почв // Экологическая химия. 1997. № 6 (4). С. 253–259.

Amundsen P.-A., Kashulin N. A., Terentjev P., Gjelland K. Ø, Koroleva I. M., Dauvalter V. A., Sandimirov S., Kashulin A., Knudsen R. Heavy metal contents in whitefish (*Coregonus lavaretus*) along a pollution gradient in a subarctic watercourse // Environ. Monit. Assess. 2011. No. 1–4 (182). P. 301–316.

Cernic M., Federer P., Borcovec M., Sticher H. Modeling of heavy metal transport in a contaminated soil // J. Environ. Qual. 1994. Vol. 23. P. 1239–1248.

Dauvalter V. Concentrations of heavy metals in superficial lake sediments of Pechenga district, Murmansk region, Russia // Vatten. 1992. No. 2 (48). P. 141–145.

Dauvalter V. Heavy metals in lake sediments of the Kola Peninsula, Russia // Sci. Tot. Environ. 1994. Vol. 158. P. 51–61.

Dauvalter V. Heavy metal concentrations in lake sediments as an index of freshwater ecosystem pollution // Crawford R. M. M. (ed.) // Disturbance and recovery in Arctic lands: an ecological perspective. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, the Netherlands, 1997. P. 333–351.

Dauvalter V. A. Heavy metals in the bottom sediments of the Inari — Pasvik lake-river system // Water Resources. 1998. No. 4 (25). P. 451–457.

Dauvalter V. Impact of mining and refining on the distribution and accumulation of nickel and other heavy metals in sediments of subarctic lake Kuetsjärvi, Murmansk region, Russia // J. Environ. Monitor. 2003. No. 2 (5). P. 210–215.

Dauvalter V., Rognerud S. Heavy metals pollution in sediment of the Pasvik River drainage // Chemosphere. 2001. No 1 (42). P. 9–18.

Dauvalter V., Sandimirov S. Pollution of the sediments of the Paz River basin / eds. Stebel K., Chritinsen G., Derome J., Crekela I. // State of the environment in the Norwegian, Finnish and Russian border area. The Finnish Environment. 2007. No. 6. 55 p.

Dauvalter V., Kashulin N., Sandimirov S., Terentjev P., Denisov D., Amundsen P.-A. Chemical composition of lake sediments along a pollution gradient in a Subarctic watercourse // Journal of Environmental Science and Health, Part A. 2011. No. 9 (46). P. 1020–1033.

De Vries W., Banker D. J. Manual for calculating critical load of heavy metals for soils and surface water. DLO Winland Staring Centre, Wageningen (The Netherlands). Report No 114, 1996. 133 p.

Fridland A. J., Craig B. M., Miller E. K., Herrick G. T., Siccama T. G., Johnson A. N. Decreasing lead levels in the forest floor of the northeastern USA // AMBIO. 1992. Vol. 21. P. 400–430.

Håkanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control — a sedimentological approach // *Water Res.* 1980. Vol. 14. P. 975–1001.

Kashulin N. A., Ratkin N. E., Dauvalter V. A., Lukin A. A. Impact of airborne pollution on the drainage area of subarctic lakes and fish // *Chemosphere.* 2001. Vol. 42, No. 1. P. 51–59.

Lukin A., Dauvalter V., Kashulin N., Yakovlev V., Sharov A., Vandysh O. Assessment of copper-nickel industry impact on a subarctic lake ecosystem // *Sci. Tot. Environ.* 2003. Vol. 306. P. 73–83.

Miller E. K., Fridland A. J. Lead migration in forest soil. Response to changing atmospheric inputs // *Environ. Sci. Technol.* 1994. Vol. 28. P. 662–672.

Moiseenko T., Mjelde M., Brandrud T. et al. Pasvik River Watercourse, Barents Region: Pollution Impacts and Ecological Responses. Investigations in 1993. Oslo: NIVA-report OR-3118, 1994. 87 p.

Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P., Rodyushkin I. V., Dauvalter V. A., Lukin A. A. and Kashulin N. A. Airborne contaminants by heavy metals and aluminium in the freshwater ecosystems of the Kola subarctic region (Russia) // *Sci. Tot. Environ.* 1995. Vol. 160/161. P. 715–727.

Norton S. A., Henriksen A., Appleby P. G. et al. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway, as evidences by studies of lake sediments. Oslo: SFT-report 487/92, 1992. 42 p.

Norton S. A., Appleby P. G., Dauvalter V., Traaen T. S. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway and Kola Peninsula, Northeastern Russia as evidences by studies of lake sediment // NIVA-Report 41/1996. Oslo, 1996. 18 p.

Rognerud S. Sedimentundersøkelser i Pasvikela høsten 1989. Oslo: NIVA-Rapport 401/90, 1990. 10 p.

Rognerud S., Norton S. A., Dauvalter V. Heavy metal pollution in lake sediments in the border areas between Russia and Norway. Oslo: NIVA-Report 522/ 93, 1993. 18 p.

Rognerud S., Dauvalter V. A., Fjeld E., Skjelkvåle B. L., Christensen G., Kashulin N. Spatial Trends of Trace-Element Contamination in Recently Deposited Lake Sediment Around the Ni–Cu Smelter at Nikel, Kola Peninsula, Russian Arctic // *AMBIO.* 2013. No. 6 (42). P. 724–736.

State of the environment in the Norwegian, Finnish and Russian border area / eds. K. Stebel, G. Chritinsen, J. Derome, I. Crekela. The Finnish Environment. 2007. No. 6. 98 p.

Traaen T. S., Moiseenko T., Dauvalter V., Rognerud S., Henriksen A., Kudravseva L. Acidification of surface waters, nickel and copper in water and lake sediments in the Russian-Norwegian border areas / Working Group for Water and Environmental Problems under the Norwegian-Soviet Environmental Protection Commission. Oslo; Apatity, 1991. 20 p.

Сведения об авторе

Даувальтер Владимир Андреевич

доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник, Институт проблем промышленной экологии Севера ФИЦ КНЦ РАН, v.dauvalter@ksc.ru

Dauvalter Vladimir Andreevich

Doctor of Sciences (Geography), Professor, Chief Researcher, Institute of North Industrial Ecology Problems of FRC KSC RAS, v.dauvalter@ksc.ru