

Проблемы изучения, рационального использования и охраны ресурсов Белого моря.
Материалы IX международной конференции
11-14 октября 2004 г., Петрозаводск, Карелия, Россия
Петрозаводск, 2005. С. 92-96.

КОНЦЕНТРАЦИЯ ХАЛЬКОФИЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ (HG, CD, PB, AS) В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ ВОДОСБОРА БЕЛОГО МОРЯ В ПРЕДЕЛАХ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА

В.А. ДАУВАЛЬТЕР

Институт проблем промышленной экологии Севера Кольского научного центра РАН, Апатиты

В результате исследований химического состава донных отложений озер водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова установлено увеличение концентраций халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb и As) во всех исследуемых водных объектах вне зависимости от того, испытывают ли они аэротехногенную нагрузку или принимают сточные воды промышленных предприятий. Эти элементы в последние десятилетия приобрели статус глобальных загрязняющих элементов. Мощность загрязненного слоя донных отложений зависит от скорости осадконакопления и находится в пределах от 1 до 15 см. Увеличение содержания Pb происходит с конца XIX столетия до начала индустриальной деятельности на Кольском полуострове. Начальный этап накопления Pb может быть связан с переносом загрязненных воздушных масс из индустриальной Европы. Заметное увеличение концентраций Cd датируется 30-40 гг. XX столетия и повышенная аккумуляция этого элемента происходит в поверхностном слое. Повышенные концентрации халькофильных элементов в донных отложениях самого крупного озера Кольского полуострова Имандра зафиксированы в верхних 10 см. Превышение содержания в современных слоях донных отложениях по сравнению с фоновыми концентрациями составило 7, 5, 7 и 4 раза для Hg, Cd, Pb и As соответственно.

V.A. Dauvalter. Concentrations of chalkophilous elements (Hg, Cd, Pb and As) in sediments of water reservoirs of the White Sea watershed within the Kola Peninsula // The study, sustainable use and conservation of natural resources of the White Sea. Proceedings of the IXth International Conference, October, 11-14, 2004. Petrozavodsk, Karelia, Russia. Petrozavodsk, 2005. P. 92-96.

In results of investigations of chemical composition of lake sediments of the White Sea watershed within the Kola Peninsula the increase of concentrations of chalkophilous elements (Hg, Cd, Pb and As) in all investigated water reservoirs was established without dependence from whether they subject to air loading or accept sewage waters of the industrial enterprises. These elements last decades have got the status of global polluting elements. Thickness of the polluted sediment layer depends on sedimentation rate and ranges from 1 up to 15 cm. The increase of Pb content occurs from the end of XIX century to the beginning of industrial activity on the Kola Peninsula. The initial stage of Pb accumulation can be connected with transition of the polluted air masses from the industrial Europe. The appreciable increase of Cd concentration is dated 30-40 of XX century and the increased accumulation of this element occurs in the superficial layer. The increased concentrations of chalkophilous elements in sediments of the largest lake of Kola Peninsula Imandra are noticed in the top 10 cm layer. Excess of the contents in modern sediment layers compared to background concentrations consists 7, 5, 7 and 4 times for Hg, Cd, Pb and As respectively.

Север Европейской части России, в том числе и Мурманская область, обладает уникальными минерально-сырьевыми ресурсами. На территории Мурманской области находятся крупнейшие в стране горнодобывающие, горно-перерабатывающие и горно-металлургические предприятия, ежегодно извлекающие на поверхность земли миллионы тонн горных пород и выбрасывающие в атмосферу и сбрасывающие в водоемы и водотоки тысячи тонн загрязняющих веществ, в том числе высокотоксичных соединений металлов и органических загрязнителей.

Среди загрязняющих веществ чрезвычайно опасными для природы и для человека являются тяжелые металлы, в первую очередь высокотоксичные халькофильные элементы (Hg, Cd, Pb, As), способные мигрировать в воздушной и водной средах на значительные расстояния благодаря своим внут-

ренним и внешним геохимическим особенностям (например, относительно низкой температурой плавления, большой способностью образовывать металлоорганические комплексы и т.д.). Эти элементы в последние десятилетия приобрели статус глобальных загрязняющих элементов. Несмотря на большое количество источников загрязнения халькофильными элементами в мире, в том числе и на Севере Европейской части России, очень мало информации по содержанию этих загрязняющих веществ в окружающей среде, и в водных системах в частности. В первую очередь это связано с очень малым содержанием этих элементов в воде, донных отложениях (ДО) и гидробионтах и сложностью их определения в этих средах.

Как известно, водоемы служат коллекторами всех видов загрязнения. ДО накапливают сведения о

потоках элементов в биосфере в историческом срезе (Förstner, Wittmann, 1981; Melnikov, 1991). Они являются важным источником информации о прошлых климатических, геохимических, экологических условиях, существующих на водосборе и в самом водоеме, позволяют оценить современное экологическое состояние воздушной и водной сред. ДО озера формируются главным образом из материала, поступающего из атмосферы и с территории водосбора и синтезируемого в воде озера, поэтому химический состав ДО является отражением характерных особенностей водосбора и самого озера. Следовательно, химический анализ ДО может дать много полезной информации как о самом озере, так и об окружающей озеро территории. Более того, анализ ДО всегда означает объединение определенного периода времени, продолжительность которого зависит от толщины анализируемого слоя ДО и от скорости осадконакопления. Таким образом, анализ ДО дает информацию за более продолжительный период времени, чем анализ воды, характеризующий только качество воды в момент отбора проб (Моисеенко и др., 1997). Когда химические анализы используются вместе с методикой радиометрического датирования (^{210}Pb , ^{14}C), то могут быть оценены исторические изменения качества воды во времени.

Для оценки современного состояния поверхностных вод и изучения истории развития и загрязнения халькофильными элементами территории водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова отбирались ДО отборником открытого гравитационного типа (внутренний диаметр 44 мм) с автоматически закрывающейся диафрагмой (Skogheim, 1979), с последующим разделением колонок на 1-см слои. Концентрации халькофильных элементов в ДО определялись в растворах методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии после обработки проб концентрированной азотной кислотой (Dauvalter, 1994).

Повышенные содержания и скорости аккумуляции халькофильных элементов в ДО, датированных последним столетием, обнаружены при исследовании Северной Фенноскандии в российских и норвежских озерах (Norton et al., 1996). Более высокие концентрации Pb в ДО в основном не связаны с выбросами металлургических комбинатов. Увеличение содержания Pb датируется временем, слишком ранним, чтобы быть связанным с любой индустриальной деятельностью в Скандинавии. Имеются данные по ДО озер южной части Швеции об атмосферном загрязнении Pb в результате его интенсивного производства и использования в Европе, начиная со времен цивилизаций древних Греции и Рима (Renberg et al., 1994). Отмечено, что атмосферные выпадения Pb увеличились по сравнению с фоновыми значениями более чем 2600 лет назад (на глубине ДО от 1.5 до 4 м). Существует незначительное, но заметное увеличение осаждения Pb около 2000 лет назад, более существенное увеличение произошло примерно 1000 лет назад, ускоренная аккумуля-

ция началась в XIX и особенно в XX вв. Максимальная аккумуляция приходится на 1970-е годы. До индустриализации XIX в. концентрации Pb в ДО озер южной части Швеции уже увеличились в результате атмосферных выпадений в 10-30 раз по сравнению с фоновым уровнем.

В Северной Америке скорость аккумуляции Pb в ДО озер увеличивается последовательно с 1850-1875 гг. до 1975 г., и затем уменьшается до настоящего времени (Norton et al., 1990). В Европе увеличение подобно вышеописанному, но резкое увеличение начинается на 50-75 лет раньше. Pb антропогенного происхождения имеет много источников, включая металлургию, стекольные заводы и использование тетраэтил Pb в качестве антидетонационной добавки к бензину. Прекращение использования последнего вызвало снижение объема выпадений Pb в Северной Америке и Западной Европе. Увеличение концентраций Pb может быть связано с трансграничным переносом Pb из источников в Северной Америке и южных регионов Европы. Абсолютные значения скоростей аккумуляции Pb меньше в северных регионах Норвегии, чем в южной части страны (Norton, Hess, 1980), а также на юге Северной Америки (Norton et al., 1990). Незначительное увеличение концентраций Pb в ДО в восточной части провинции Финмарк (Норвегия) обнаруживается вследствие относительно низкой скорости аккумуляции ДО в озерах и очень низкими фоновыми концентрациями Pb.

В колонке ДО горного озера водосбора оз. Чунозера определен возраст современных слоев за последние 200 лет радиометрическим методом в Ливерпульском Университете, Великобритания на основе хронологии ^{210}Pb (Solovieva, Jones, 2002), используя модели датирования CRS и CIC (Appleby et al., 1986). Ретроспективный анализ геохимического состава ДО горного озера выявил аккумуляцию Cd и Pb в XX столетии (Рис. 1) несмотря на их низкие содержания в воде. С конца XIX столетия происходит увеличение накопления Pb. В этот период Кольский Север был не освоенной территорией и начальный этап накопления Pb может быть связан с переносом загрязненных воздушных масс из индустриальной Европы. К концу XIX столетия отмечается снижение концентрации Cd и последующее увеличение к 30-40 годам XX столетия, некоторое снижение к середине 70-х и повышенная аккумуляция в поверхностном слое. Накопление Ni, Cu и Co отмечается с 40-х годов и однозначно связано с индустриальным развитием Кольского региона и началом функционирования плавильных цехов по переработке медно-никелевых руд в г. Мончегорске, расположенных на расстоянии более 20 км к востоку от горного озера (Моисеенко и др., 2000).

Увеличение концентраций тяжелых металлов, в том числе и халькофильных элементов, отрицательно сказалось на экологическом состоянии озера. Согласно исследованиям сообщества хириноид в горном озере было выделено три стадии их развития

(Pyashuk, Pyashuk, 2001): 1 – природного онтогенеза (до ~ 1945 г.), 2 – начальная стадия антропогенного онтогенеза (~ 1945 - ~ 1982 гг.), 3 – антропогенного онтогенеза (после ~ 1982 г.).

Подобное распределение концентраций халькофильных элементов было отмечено в донных отложениях оз. Чунозера, расположенного на территории Лапландского государственного биосферного заповедника и испытывающего аэротехногенное загрязнение, главным образом, выбросами комбината «Североникель». Вследствие большей скорости осадконакопления в оз. Чунозеро заметное увеличение концентраций Pb отмечается на глубине 15 см (Рис. 2), в то время как в донных отложениях горного озера рост содержания этого халькофильного элемента зафиксирован в слое 5-6 см, который по времени осадконакопления соответствует концу XIX столетия.

Самое большое озеро Кольского полуострова – Имандра – загрязняется промышленными стоками и атмосферными выбросами крупнейших предприятий горно-металлургической промышленности – комбинат «Североникель», ОАО «Апатит», Олене-

горский ГОК, и хозяйственно-бытовыми стоками населенных пунктов на водосборе озера. Озеро испытывает интенсивную антропогенную нагрузку в течение более 70 лет, что привело к изменению химического состава как воды, так и ДО. Повышенные концентрации халькофильных элементов в ДО оз. Имандра зафиксированы в верхних 10 см (Рис. 3). Превышение содержания в современных слоях ДО по сравнению с фоновыми концентрациями (в слоях глубже 10 см ДО) составило 7, 5, 7 и 4 раза для Hg, Cd, Pb и As соответственно.

Озеро Верхнее Чалмозеро, входящее в систему Пиренгских озер и расположенное на территории водосбора оз. Имандра, испытывает главным образом аэротехногенную нагрузку, хотя через реки Ковдора и Ена в него поступают стоки Ковдорского ГОКа. Вероятно, скорость осадконакопления в оз. В. Чалмозеро самая малая из всех вышеописанных озер, поэтому увеличение концентраций халькофильных элементов в ДО оз. В. Чалмозеро зафиксировано только в верхнем 1-2-см слое (Рис. 3). Содержание Hg, Cd, Pb и As в поверхностном слое ДО увеличилось в 3.3, 2.3, 1.9 и 5.4 раза соответственно.

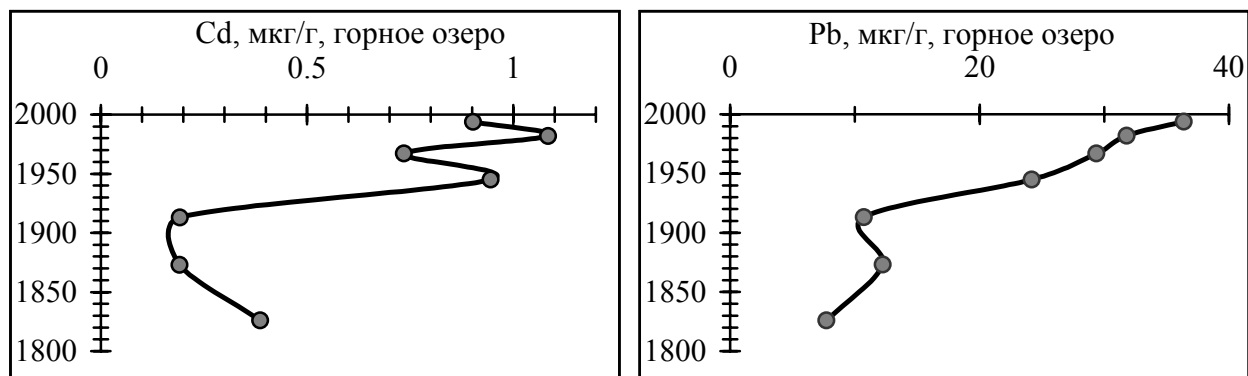


Рис. 1. Вертикальное распределение концентраций (мкг/г сух. веса) Cd и Pb в датированных донных отложениях горного озера (водосбор Чунозера)

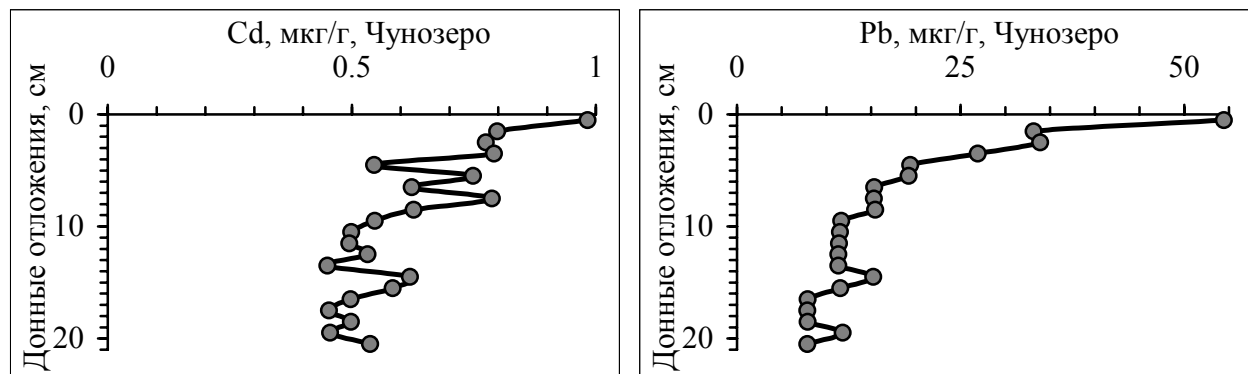


Рис. 2. Вертикальное распределение концентраций (мкг/г сух. веса) халькофильных элементов в донных отложениях оз. Чунозера

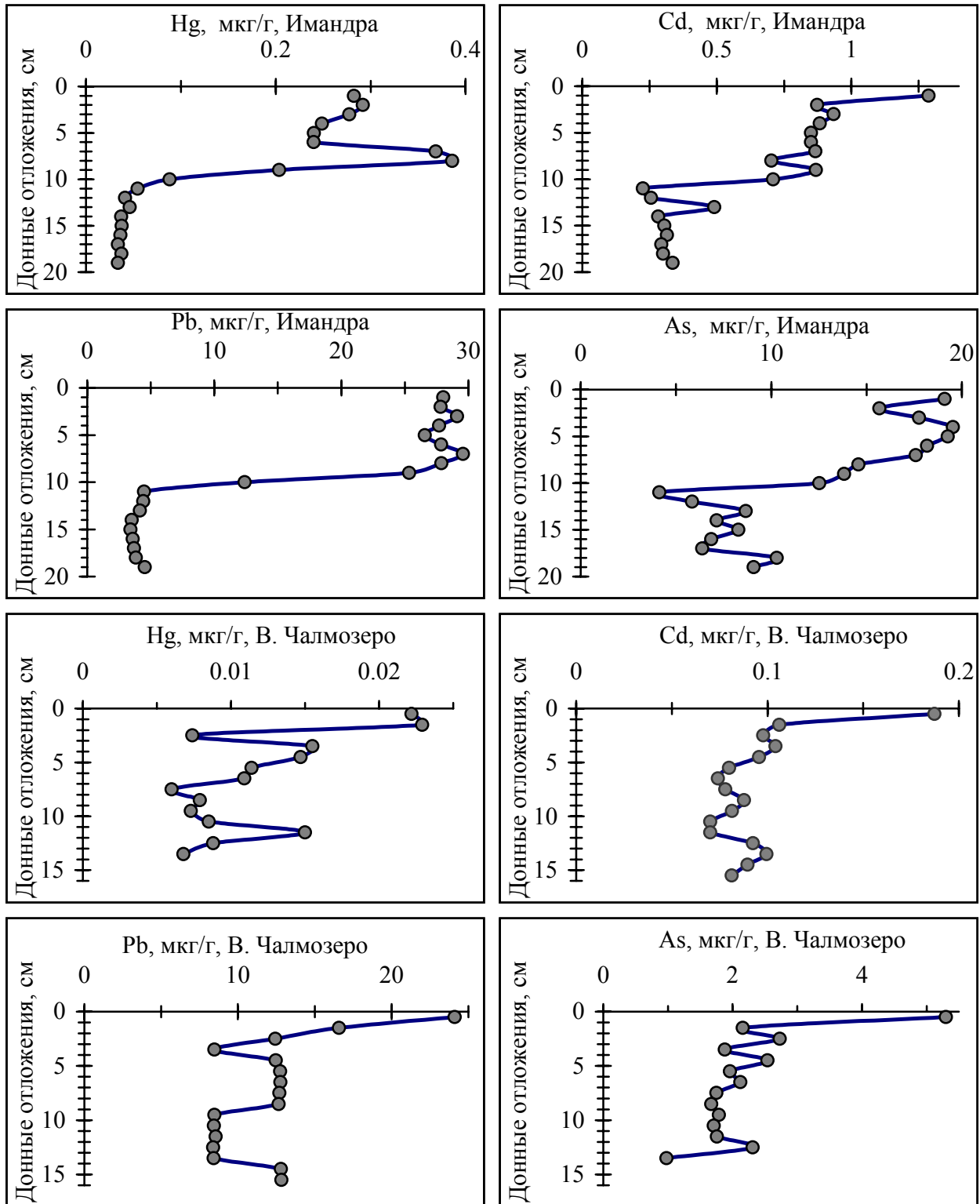


Рис. 3. Вертикальное распределение концентраций (мкг/г сух. веса) халькофильных элементов в донных отложениях озер Имандра и Верхнее Чалмозеро

Таким образом, в результате исследований химического состава ДО озер водосбора Белого моря в пределах Кольского полуострова установлено увеличение концентраций халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb и As) во всех исследуемых водных объ-

ектов вне зависимости от того, испытывают ли они аэротехногенную нагрузку или принимают сточные воды промышленных предприятий. Эти элементы в последние десятилетия приобрели статус глобальных загрязняющих элементов. Мощность загряз-

ненного слоя ДО зависит от скорости осадконакопления и находится в пределах от 1 до 15 см. Увеличение содержания Pb происходит с конца XIX столетия до начала индустриальной деятельности на Кольском полуострове. Начальный этап накопления Pb может быть связан с переносом загрязненных воздушных масс из индустриальной Европы. Заметное увеличение концентраций Cd датируется 30-40 гг. XX столетия и повышенная аккумуляция этого элемента происходит в поверхностном слое. Повышенные концентрации халькофильных элементов в ДО самого крупного озера Кольского полуострова Имандра зафиксированы в верхних 10 см. Превышение содержания в современных слоях ДО по сравнению с фоновыми концентрациями составило 7, 5, 7 и 4 раза для Hg, Cd, Pb и As соответственно.

Результаты исследований могут быть использованы для оценки экологического состояния пресноводных экосистем Севера Европейской части России, и главным образом для:

- 1) определения санитарного состояния водоемов и их пригодности для снабжения питьевой водой;
- 2) планирования и реализации природоохранных мероприятий на территории Мурманской области;
- 3) проведения комплексных исследований по оценке вклада различных производств в поступление радионуклидов и загрязняющих элементов, в том числе халькофильных элементов, в поверхностные воды;
- 4) создания сети мониторинга загрязнения водных экосистем Севера Европейской части России;
- 5) определения экологического состояния водоемов с точки зрения их пригодности к промышленному рыболовству.

Литература

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

- Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Ильяшук Б.П., Каган Л.Я., Ильяшук Е.А. 2000. Палеоэкологическая реконструкция антропогенной нагрузки // Доклады академии наук. Т. 370, № 1. С. 115-118.
- Appleby P.G., Nolan P., Gifford D.W., Godfrey M.J., Oldfield F., Anderson N.J., Batterby R.W. 1986. ²¹⁰Pb dating by low background gamma counting // *Hydrobiologia*. Vol. 141. P. 21-27.
- Dauvalter V. 1994. Heavy metals in lake sediments of the Kola peninsula, Russia // *Sci. Total Environ.* Vol. 158. P. 51-61.
- Förstner U., Wittmann G.T.W. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. N.Y.: Springer-Verlag, 2nd revised edition. 486 p.
- Ilyashuk B.P., Ilyashuk E.A. 2001. Response of alpine chironomid communities (Lake Chuna, Kola Peninsula, northwestern Russia) to atmospheric contamination // *J. Paleolim.* Vol. 25. P. 467-475.
- Melnikov S.A. 1991. Report on heavy metals // *State of the Arctic Environment*. Rovaniemi: Arctic Centre Publications. P. 82-153.
- Norton S.A., Dillon P.J., Evans R.D., Mierle G., Kahl J.S. 1990. The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments // Lindberg S. E. et al. (Eds.). *Sources, Deposition and Canopy Interactions*. V. III, *Acidic Precipitation*. N.Y.: Springer-Verlag. P. 73- 101.
- Norton S.A., Hess C.T. 1980. Atmospheric deposition in Norway during the last 300 years as recorded in SNSF lake sediments: I. Sediment dating and chemical stratigraphy // *Proc. Intern. Ecol. Impact of Acidic Precipitation, SNSF-project, Sandefjorden, Norway*. P. 274-275.
- Norton S.A., Appleby P.G., Dauvalter V., Traaen T.S. 1996. Trace metal pollution in eastern Finnmark, Norway and Kola Peninsula, Northeastern Russia as evidences by studies of lake sediment. Oslo: NIVA-Report 41/1996. 18 p.
- Renberg I., Persson M.W., Emteryd O. 1994. Pre-industrial atmospheric lead contamination detected in Swedish lake sediments // *Nature*. Vol. 368. P. 323-326.
- Skogheim O.K. 1979. Rapport fra Arungenprosjektet. Oslo: As- NLH, Nr. 2. 7 p.
- Solovieva N., Jones V.J. 2002. A multiproxy record of Holocene environment changes in the Central Kola Peninsula, northwest Russia // *J. Quaternary Sci.* Vol. 17. P. 303-318.