

УДК 542.48:550.42:551.312(281.247.212)

СВИДЕТЕЛЬСТВА ЦИРКОНОВОЙ ПРИРОДЫ КАДМИЕВЫХ АНОМАЛИЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ЛИТОРАЛИ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЛАДОЖСКОГО ОЗЕРА

© 2016 г. Член-корреспондент РАН Э. В. Ивантер¹, З. И. Слукковский²,
Д. С. Дудакова³, А. С. Медведев², С. А. Светов²

Поступило 20.07.2015 г.

Проведены исследования микроэлементного состава донных отложений литоральной зоны северной части оз. Ладожское. Показано, что аномальные концентрации Cd в осадках водоема тесно связаны с ледниковыми образованиями четвертичного периода территории Карелии. Установлена отрицательная корреляция Cd с другими тяжелыми металлами в изученных донных отложениях и положительная – с Zr. Вероятнее всего, Cd – примесь в цирконах из песчаных и супесчаных осадочных формаций, распространенных на побережье северной части акватории оз. Ладожское.

DOI: 10.7868/S0869565216170199

Кадмий – редкий рассеянный микроэлемент, аномально высокие концентрации которого в атмосферном воздухе, почвенном покрове, воде, донных отложениях (ДО) часто ассоциируются с антропогенной нагрузкой на изучаемые природные объекты. Общеизвестны высокотоксичные свойства Cd для живых организмов, что определяет нахождение этого тяжелого металла среди наиболее опасных загрязнителей окружающей среды. Основной вклад в загрязнение окружающей среды Cd вносят цветная металлургия, лакокрасочное производство, производство пластмасс, электронная промышленность и сельское хозяйство. Всего от антропогенных источников в биосферу поступает более 90% Cd и его соединений от всей массы этого металла, задействованной в круговороте вещества в природе [1, 2].

Озеро Ладожское – крупнейший пресноводный водоем Европы (17.7 тыс. км²), имеющий важное хозяйственное и рекреационное значения для северо-запада России и страны в целом [3]. В свете изменений, происходящих с экосистемой водоема и связанных с высоким уровнем антропогенной нагрузки, эколого-химические исследова-

ния на оз. Ладожское приобретают первостепенное значение [4].

Изучение ДО – важная часть комплексных лимнологических исследований. Химический состав ДО – индикатор множества сложных процессов природного и антропогенного характера, происходящих на водосборной площади водоема и в пределах самой гидрокосистемы. Отложения в прибрежной зоне таких крупных водных объектов, как оз. Ладожское, могут служить своеобразными депо на пути миграции различных химических элементов, в том числе и тяжелых металлов, в основную часть водоема [3].

Цель исследований – установить генезис аномально высоких концентраций Cd в ДО литоральной зоны северной части оз. Ладожское по данным ICP–MS-анализа.

Полевые исследования в Северном Приладожье проводили в 2013, 2014 гг. Исследовали поверхностный слой ДО литоральной (глубины 1–1.5; 3; 8 м) зоны оз. Ладожское (рис. 1).

Пробы грунта отбирали при помощи дночерпателя Экмана–Берджи, камеральная работа заключалась в просушке изъятых ДО в лабораторных условиях, просеивании их через сито с размером ячеек 2 мм и истирании до порошкообразного состояния. Микроэлементный состав изучаемых осадков определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP–MS (подробнее в [5, 6]). Компьютерная обработка данных выполнена при помощи программ Microsoft Excel 2007, Inkscape 0.48.4.

Интерес к исследованию Cd в ДО литорали выбранных участков северной части оз. Ладож-

¹ Петрозаводский государственный университет
E-mail: ivanter@petrsu.ru

² Институт геологии Карельского научного центра
Российской Академии наук, Петрозаводск
E-mail: slukovsky87@gmail.com

³ Институт озероведения Российской Академии наук,
Санкт-Петербург
E-mail: judina-d@yandex.ru



Рис. 1. Карта-схема района исследования. Звездочки – станции донного опробования.

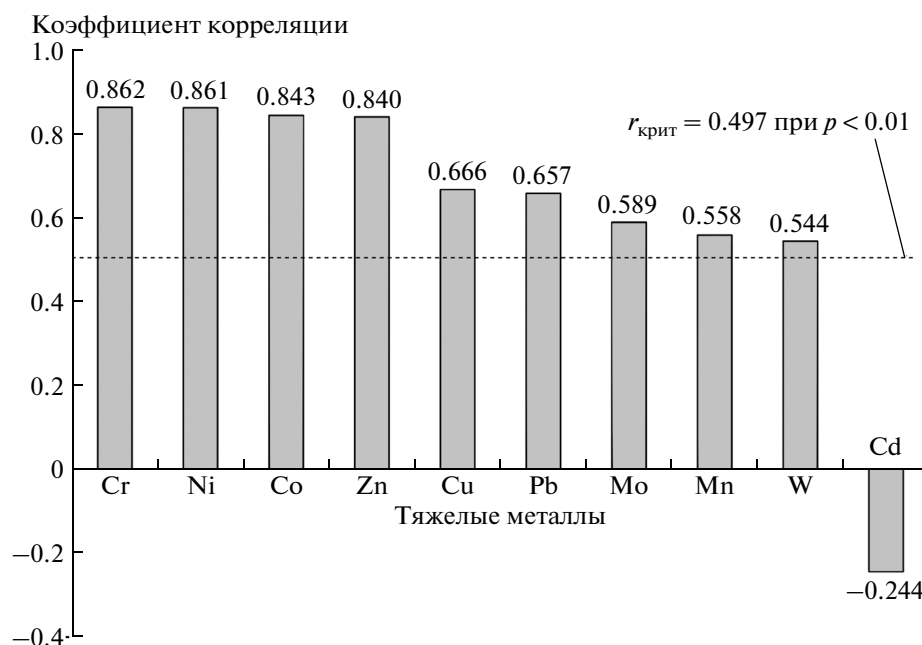


Рис. 2. Корреляция содержания Li с концентрациями тяжелых металлов в донных отложениях литоральной зоны оз. Ладожское.

ское появилось вследствие аномальных концентраций элемента 0.66–2.77 мг/кг в осадках, отобранных в районе зал. Лехмалахти, о. Лункулансаари, п-ова Хунука, что в 2–7 раз превышает региональный геохимический фон этого тяжелого металла (0.39 мг/кг) для ДО пресноводных водоемов. При этом отмечено отсутствие значимой корреляции Cd с Li – индикатором тонких гранулометрических фракций в ДО [7] и основными микроэлементами-загрязнителями (рис. 2), вы-

сокие концентрации которых, как правило, приурочены к глинистым, алевритовым, тонкопесчаным отложениям (зал. Кирьявалахти, Импилахти).

Содержания Cd 0.19–0.46 мг/кг в ДО указанных выше районов исследования, наоборот, близки к фоновому уровню, медиана – 0.32 мг/кг. Высокий уровень накопления других тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, W) в обозначенных пробах

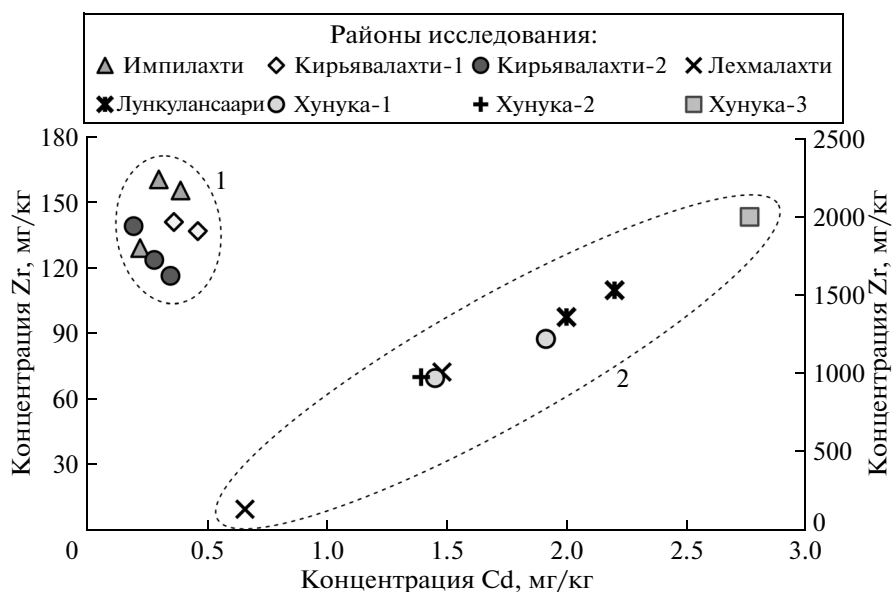


Рис. 3. Бинарная диаграмма Cd–Zr, иллюстрирующая различия в химизме двух групп донных отложений литорали оз. Ладожское (левая шкала концентраций Zr для точек из области 1, правая – из области 2).

свидетельствует о явном техногенном воздействии на гидроэкосистему Северного Приладожья. При этом установлена тесная корреляционная связь Cd с Zr во всех исследованных образцах проб ($r_{Cd-Zr} = 0.99$ при $p < 0.01$). Особенно выделяются ДО районов зал. Лехмалахти, о. Лункулансаари, п-ова Хунука, где содержание Zr в образцах ДО 135–1998 мг/кг (медиана – 1116 мг/кг), рис. 3.

Поведение Cd, аналогичное вышеописанному, ранее было обнаружено при изучении ДО водных объектов Петрозаводска, расположенного на берегу другого крупного европейского водоема – оз. Онежское [5, 6]. Исследования показали, что высокие содержания Cd слабо влияют на экологию зарегулированного городского водотока, в частности, на видовое разнообразие диатомовой флоры р. Лососинка [8]. В самом Онежском озере обнаружена Cd-аномалия (4.0 мг/кг) в ДО южной части водоема. Аномалия не подтверждается значительными находками в шлихах пробы сфалерита (или других сульфидов), что не сходится с классическими представлениями о природном изоморфизме Cd и Zn. Отметим, что данный образец – песок озерно-ледникового происхождения. В образце обнаружено значительное содержание циркона $ZrSiO_4$ из тяжелой фракции отложений.

Ледниковый и, вполне вероятно, цирконовый “след” обнаружен также для Cd-аномалий (до 3.55 мг/кг) горизонта ВС поверхностно-подзолистых песчаных почв Карелии, распространенных на флювиогляциальных отложениях [9]. Экстремально высокие концентрации Cd в ДО литорали оз. Ладожское в районах о. Лункулансаари,

зал. Лехмалахти, п-ова Хунука приурочены к выходам на дневную поверхность песчаных и супесчаных (с галькой, валунами) флювиогляциальных плейстоценовых формаций Валдайского надгоризонта [10]. В районах исследования Кирьявалахти-1, 2 и Импилахти береговую линию слагают архейские, протерозойские коренные породы, что способствует накоплению на литорали озера преимущественно алеврито-глинистых отложений.

Поведение Cd в ДО западной части акватории оз. Ладожское – неразрешимый вопрос работы Е.А. Петровой [4]. Она установила значительное (от 50% и выше) содержание этого микроэлемента в труднорастворимом остатке относительно валовой концентрации Cd в изученных пробах, что может говорить о его минеральной (цирконовой?) природе, учитывая существенное влияние ледниковых отложений на формирование береговой линии, литорали и дна западной части оз. Ладожское [10]. Так почему Cd связан именно с цирконом?

В [11] указано, что содержание Cd в гидротермальных цирконах из рудных амфиболитов Беломорского подвижного пояса (Северная Карелия) 73.7–777.6 мг/кг массы минерального зерна. Из устного сообщения автора [11] стало известно, что столь высокие концентрации Cd в цирконах нигде не встречаются. В данном случае Cd – примесной элемент карельских цирконов, образовавшихся в ходе длительного гидротермального процесса, сопровождавшего бурную магматическую и метаморфическую активность на рассматриваемой территории 1–3 млрд лет назад. Уникальные находки самородного Cd в Северо-Гир-

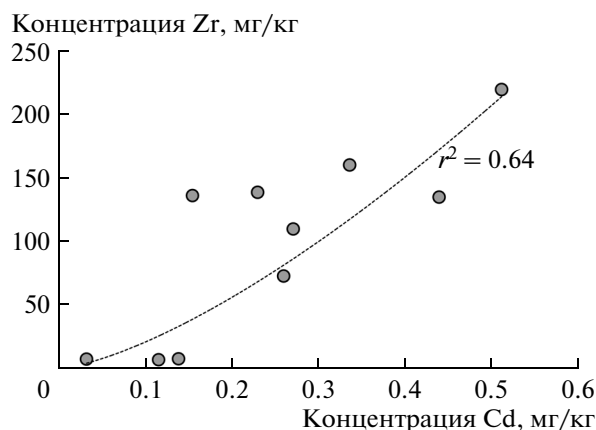


Рис. 4. Взаимосвязь между концентрациями Cd и Zr в коренных породах береговой линии Северного Приладожья.

васском рудопроявлении Карелии — также продукт гидротермальной активности в районе Койкарской структуры, сложенной породами магматического генезиса [12]. Отмечено, что ДО Тихого океана, наиболее обогащенные Cd, приурочены к зонам со значительной вулканической и гидротермальной активностью [13]. Более 60% всего природного Cd, поступающего ежегодно в атмосферу Земли от различных источников, связано с современным вулканизмом планеты [1]. Содержание Cd в магматических и вулканогенно-осадочных породах береговой линии исследованных районов оз. Ладожское невелико — 0.03–0.51 мг/кг, однако на рис. 4 видно наличие связи между Cd и Zr в обозначенных горных породах.

Вследствие крайней устойчивости циркона к процессам выветривания указанная связь усиливается в современных отложениях четвертичного чехла Карелии, а Cd оказывается как бы “консервирован” в замкнутой минеральной системе, что, вероятно, не может позволить ему в полной мере проявлять свое токсическое воздействие на живые организмы [8]. Исследование нами бентоса в обозначенных районах оз. Ладожское не выявило качественных или количественных изменений сообществ организмов в пробах с аномальными концентрациями Cd. С подобным явлением столкнулись в другом районе Севера России — Республике Коми. В ДО рек бассейна верхнего и среднего течений Печоры концентрации Cd 2–30 мг/кг, притом, что большинство проб речных отложений отобрано на территории Печоро-Ильчского заповедника, что исключает антропогенный генезис столь высоких концентраций Cd [14]. Поэтому описанная в [14] проблема, учитывающая обширную экзарационную ледниковую деятельность в северных широтах, способствовав-

шую повсеместному появлению природных Cd-аномалий, может выходить далеко за рамки акватории и бассейна оз. Ладожское и Карельского региона в целом.

Таким образом, проведенные исследования свидетельствуют о природном происхождении Cd-аномалий, обнаруженных в осадках литорали северной части оз. Ладожское. Основными факторами, способствовавшими интенсивному накоплению Cd, служат вулканическая активность на территории современной Карелии 1–3 млрд лет назад, цирконовая минерализация, где Cd — примесной элемент, а также крайняя устойчивость циркона к выветриванию и его генетическая связь с ледниковыми отложениями в четвертичном чехле района исследований, где последние — продукты разрушения древних магматических и метаморфических пород. Следует с осторожностью относиться к высоким концентрациям изученного тяжелого металла в ДО оз. Ладожское, не указывая однозначно на его экологическую опасность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Traina S.J. Cadmium in Soils and Plants. Dordrecht: Springer Science+Business Media, 1999. P. 11–37.
2. Kabata-Pendias A., Mukherjee A.B. Trace Elements from Soil to Human. В.; Heidelberg: Springer-Verlag, 2007. 550 p.
3. Литоральная зона Ладожского озера / Под ред. Е.А. Курашова. СПб.: Нестор-История, 2011. 416 с.
4. Петрова Е.А. // Вестн. СПбГУ. Серия 7. 2006. Вып. 1. С. 18–29.
5. Рыбаков Д.С., Слуковский З.И. // Уч. зап. Петрозавод. гос. ун-та. 2012. № 4. С. 67–73.
6. Слуковский З.И., Медведев А.С. // Экол. химия. 2015. № 1. С. 56–62.
7. Loring D.H. // Mar. Chem. 1990. V. 29. P. 155–168.
8. Рыбаков Д.С., Шелехова Т.С. // Экология. 2014. № 1. С. 45–52.
9. Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К. Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука, 2008. 47 с..
10. Богданов Ю.Б., Маркова М.Д., Паршина Г.Н., Пеземская Н.П., Радченко С.А. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Новая версия. Лист Р-(35)-37. Петрозаводск 1:1000000. СПб.: СПб картограф. фабрика ВСЕГЕИ, 2000. 150 экз.
11. Кожевников В.Н., Земцов В.А. // Тр. Карел. Науч. центра РАН. 2014. № 1. С. 76–89.
12. Лавров О.Б., Кулешевич Л.В. // Зап. Рос. минерал. об-ва. 2013. № 1. С. 64–74.
13. Орешкин В.Н. // Океанология. 1977. № 4. С. 666–671.
14. Доровских Г.Н., Мазур В.В. // Вода: химия и экология. 2013. № 9. С. 11–18.