

© М.М. БАЗОВА

mm.bazova@yandex.ru

УДК 556

### **МЕТАЛЛЫ И МЕТАЛЛОИДЫ В ПРИРОДНЫХ ВОДАХ КОЛЬСКОГО СЕВЕРА И ИХ ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОПАСНОСТЬ**

*АННОТАЦИЯ* В статье приведены результаты исследования опасных элементов в воде озер Кольского Севера (Мурманская область). В зависимости от ландшафтно-геохимических особенностей региона и удаленности от источника загрязнения выявлены различия в распределении элементов. Повышенные содержания Ni, Cu, Se и Ti в воде озер наблюдаются вблизи антропогенных медно-никелевых плавильных производств. Содержания микроэлементов в воде озер наглядно отражают процессы, обуславливающие особенности распределения и вариабельность тех или иных элементов в различных субрегионах. В целом в озерах Кольского региона наблюдается значительное обогащение вод такими элементами, как Re, V, Se, As, Mo, Sb, Cd, Ag, Sc, Ni. Рассчитан коэффициент водной миграции как отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах или почвах (или к кларку литосферы). Высокий коэффициент водной миграции таких элементов как Se, Re, Bi, Mo, Sb, U, Cd, As свидетельствует об их техногенном рассеивании. Увеличение уровня содержания металлов и металлоидов в природных водах в результате локальной и региональной антропогенной нагрузки может приводить к изменению биогеохимических циклов и формированию экотоксичных условий для водных организмов.

*SUMMARY.* The paper is presented the results of a research of trace elements in water of lakes of the Kola Peninsula (Murmansk region). Depending on the landscape-geochemical characteristics of the region and the distance from the source of pollution have been found differences in the distribution of elements. The higher contents of Ni, Cu, Se, and Ti in water of lakes are observed near anthropogenic sources of pollution. The content of the trace elements concentrations in the water of lakes visually reflects the processes causing the features of the distribution and variability of elements in the sub-regions. In general, in water of lakes of the Kola North are observed a significant enrichment of elements such as Re, In, Se, As, Mo, Sb, Cd, Ag, Sc, Ni. The coefficient migration of water is calculated as the ratio of the water content of the element in the mineral balance of water to its content in rocks or soil (or to Clark lithosphere). In selected sub-regions such elements as Se, Re, Bi, Mo, Sb, U, Cd, As have a high coefficient migration of water. The rising of the level of metals and metalloids in surface waters as a result of local and regional anthropogenic loads led to formation of ecotoxicological situation for water habitats.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.* Опасные элементы, обогащение, рассеивание.

*KEY WORDS.* Dangerous elements, enrichment, dispersion.

**Введение.** В условиях интенсивного индустриального развития, выраженного в увеличении численности населения, активной эксплуатации минерально-сырьевых ресурсов, изменения климата, выпадения кислотных осадков окружающая среда испытывает негативное воздействие. В.И. Вернадский [1] отмечал, что усиление роли технического прогресса в масштабном плане сопоставимо с геологическими катастрофами. Концепция «устойчивого развития», сходная с идеей В.И. Вернадского о ноосфере, заключается, с одной стороны, в соблюдении экологических требований по отношению к окружающей среде, а с другой — в экономическом обеспечении устойчивого развития общества.

Проблема загрязнения природных вод опасными элементами (металлами и металлоидами) актуальна в современных условиях интенсивных антропогенных нагрузок. Металлы попадают в атмосферу и водные объекты в результате природных и антропогенных процессов, протекающих как на поверхности Земли, так и в ее недрах. К природным процессам относят химическое выветривание, вулканическую деятельность. К антропогенным — хозяйственная деятельность человека: различные виды промышленного производства, добыча полезных ископаемых, сжигание топлива и др. источники. Доказанным является тот факт, что за последнее столетие резко увеличилось антропогенное поступление элементов в окружающую среду, которое связано с увеличением объемов добычи металлов и их рассеиванием в окружающей среде [2], [3].

Особенно высокими содержаниями металлов характеризуются дымовые выбросы заводов по переработке цветных металлов и производству аккумуляторов. На территории Кольского полуострова выделяют три центра техногенного (включая аэротехногенное) загрязнения. Северо-западный центр, в котором расположены предприятия цветной металлургии. Наиболее мощный загрязнитель — комбинат «Печенганикель» (г. Заполярный и г. Никель) — горно-металлургическое производство медно-никелевых руд. Меридиональный центр охватывает долины р. Колы, оз. Имандра и р. Нивы, где функционируют предприятия горнодобывающей и химической промышленности, цветной и черной металлургии. Эта территория в большей степени подвержена техногенному загрязнению, в ней расположены промышленные предприятия Оленегорска, Мончегорска, Кировска, Апатит и Кандалакши (ГМК «Североникель», ОАО «Апатит», «Олкон», Кольская АЭС, Ловозерский ГОК, Кандалакшский алюминиевый завод). Юго-западный центр включает в себя железорудные и другие предприятия Ено-Ковдорского промышленного узла, которые также вносят свой вклад в аэротехногенное загрязнение территории. С дымовыми выбросами эмиссия металлов происходит как в составе пылевых частиц, так и аэрозолей.

Целью работы было выявить уровни загрязнения природных вод опасными элементами в зависимости от удаленности от источника загрязнения и ландшафтно-геохимических особенностей региона, а также рассчитать коэффициенты водной миграции в различных субрегионах Кольского Севера.

**Материалы и методы.** Информационной основой настоящего исследования послужили данные по элементному составу 21 озера Кольского Севера.

Озера сгруппированы по ландшафтно-геохимическим особенностям: I — озеро в зоне влияния Кольских медно-никелевых плавильных производств (основные породы); II — антропогенно-закисленные озера тундрово-таежной зоны (кислые породы — граниты и кварцевые пески) и III — природно-подкисленные

озера заболоченных массивов (преимущественно кислые породы — граниты). Следует отметить, что в пределах Кольского п-ова распространены месторождения редкоземельных металлов, центральная часть (Хибинские и Ловозерские горы) сложена щелочными массивами с высоким содержанием фосфора — апатито-нефелиновые сиениты.

Концентрация микроэлементов (более 60) определялась методом индуктивно связанной плазмы на масс-спектрометре Plasma Quad-3 фирмы Fisions Instruments Elemental Analysis (Великобритания) [4]. В анализ не включались элементы, средние значения которых были ниже порога аналитического обнаружения: Te, Hg (с порогом обнаружения <0,05 мкг/л), Ge, Ru, Pd, Hf, Os, Ir, Pt, Au, Sm, Eu, Dy, Er, Yb, Lu (с порогом обнаружения <0,02 мкг/л), Rh, Ta, Tl, Tb, Ho, Tm (с порогом обнаружения <0,01 мкг/л) согласно измерениям, проведенным для этого региона. Всего в водах малых озер было рассмотрено 38 микроэлементов (металлов и металлоидов).

**Результаты.** В таблице 1 приведены средние значения и пределы варьирования концентраций микроэлементов в трех вышеобозначенных субрегионах Кольского Севера.

Воды озер, приуроченные к медно-никелевым предприятиям, характеризуются повышенными содержаниями Ni, Cu, Se и Ti, которые распространяются с дымовыми выбросами и выщелачиваются кислотными осадками.

Антропогенно-закисленные озера тундровой и таежной зон расположены на кислых гранитных и кварцево-песчаных породах. В отличие от основных пород граниты менее подвержены кислотному выщелачиванию. Кислая среда, наряду с высокими содержаниями Al и Fe, обуславливает повышенные содержания большой группы элементов Ni, Zn, Sr, Li, Cs, Bi.

Природно-подкисленные озера заболоченных массивов, для которых характерно наличие торфянистых и болотных почв, обуславливающих обогащение вод гумусовыми веществами и способствующих активной миграции в воду озер Al, Fe, Mn и Ba. Содержание алюминия и железа в воде озер в десятки раз превышает таковые значения в других рассматриваемых субрегионах (табл. 1). Вследствие интенсивной биогенной миграции воды озер обогащены Mn и B. Повышенное содержание элементов La, Ce, Nb обусловлено высокой подвижностью этих элементов в природных водах и распространением месторождений щелочно-земельных элементов.

Таблица 1

**Медианные (50%) значения и пределы варьирования элементного состава вод малых озер (в мкг/л) в различных субрегионах Кольского Севера**

Элемент	I вокруг плавлен (базальты и габбро), n=4	II антропогенно-закисленные (кварцевые пески и граниты), n=11	III природно-подкисленные озера заболоченных массивов, n=6
Al	27,4 (16,3—29,7)	35,3 (10,0—160,)	387 (202—808)
Fe	31,1 (22,3—102,0)	44 (4,8—225,0)	278 (81—472)
Cu	4,97 (1,56—8,85)	0,84 (0,40—1,94)	1,42 (0,70—2,69)
Ni	5,6 (2,7—28,7)	1,20 (0,60—4,10)	2,15 (1,0—4,4)

Окончание табл. 1

Co	0,05 (0,05—0,20)	0,05 (0,05—0,50)	0,40 (0,40—0,60)
Zn	2,0 (1,0—4,0)	2,70 (1,6—3,1)	3,30 (2,10—3,80)
Mn	3,9 (2,2—5,5)	8,1 (1,3—11,8)	13,3 (3,3—23,7)
Sr	0,1 (5,9 — 10,7)	4,7 (2,0—23,4)	0,13 (6,7—15,0)
Pb	0,20 (0,10—0,30)	0,30 (0,10—0,80)	0,25 (0,10—0,70)
Cr	0,3 (0,2—0,4)	0,20 (0,10—0,40)	0,65 (0,50—0,90)
Cd	0,07 (0,04—0,08)	0,07 (0,05—0,12)	0,08 (0,02—0,16)
As	0,50 (0,35—0,64)	0,27 (0,05—0,55)	0,38 (0,24—0,67)
Li	0,86 (0,11—1,22)	1,15 (0,18—3,01)	1,13 (0,34—1,94)
Se	1,44 (0,86—1,60)	0,80 (0,42—1,44)	0,96 (0,64—1,12)
Mo	0,27 (0,19—0,30)	0,08 (0,01—0,29)	0,06 (0,03—0,07)
U	0,05 (0,01—0,06)	0,01 (0,01—0,03)	0,04 (0,01—0,25)
Rb	0,01 (0,42—0,94)	1,01 (0,67—22,99)	0,01 (0,46—7,92)
Sb	0,05 (0,03—0,11)	0,08 (0,03—0,24)	0,09 (0,04—0,31)
Ba	6,45 (1,48—7,33)	3,35 (1,06—7,86)	11,56 (4,83—27,19)
Be	0,01 (0,01—0,02)	0,02 (0,01—0,07)	0,03 (0,02—0,03)
B	1,5 (1,0—2,0)	1,5 (0,9—2,9)	1,3 (1,0—1,9)
Sc	0,61 (0,27—0,91)	0,17 (0,13—0,34)	0,59 (0,20—1,48)
Ti	1,72 (0,70—2,37)	1,24 (0,45—2,54)	2,91 (1,39—4,98)
V	0,57 (0,28—0,65)	0,31 (0,15—0,77)	0,70 (0,62—1,12)
Re	0,01 (0,01—0,02)	0,01 (0,01—0,02)	0,01 (0,01—0,03)
Sn	0,11 (0,05—0,31)	0,15 (0,05—0,29)	0,11 (0,09—0,43)
Ga	0,03 (0,02—0,05)	0,01 (0,01—0,03)	0,03 (0,02—0,07)
Y	0,05 (0,01—0,06)	0,02 (0,02—0,03)	0,31 (0,10—1,54)
Zr	0,07 (0,04—0,08)	0,08 (0,02—0,14)	0,13 (0,03—0,25)
Nb	0,01 (0,01—0,01)	0,01 (0,01—0,03)	0,02 (0,01—0,03)
Cs	1,42 (1,00—1,46)	2,70 (1,44—3,72)	1,60 (1,23—3,35)
W	0,03 (0,01—0,04)	0,03 (0,02—0,07)	0,04 (0,02—0,05)
Bi	0,53 (0,39—1,12)	1,05 (0,42—2,03)	1,04 (0,69—1,19)
La	0,40 (0,23—2,88)	0,57 (0,12—6,68)	1,13 (0,40—3,00)
Ce	0,35 (0,25—4,69)	0,61 (0,13—8,06)	2,32 (0,51—3,67)
Pr	0,04 (0,02—0,20)	0,04 (0,01—0,46)	0,37 (0,06—0,71)
Nd	0,14 (0,04—0,18)	0,07 (0,06—0,47)	1,19 (0,13—2,34)
Th	0,01 (0,01—0,01)	0,01 (0,01—0,04)	0,08 (0,01—0,13)

Сопоставительный анализ концентраций микроэлементов в выделенных субрегионах показал основные различия (рис. 1). В озерах индустриальной зоны отмечены высокие содержания Cu, Ni, Mn, Se, Ti, что вызвано непосредственным

влиянием дымовых выбросов медно-никелевых предприятий. В то же время большая группа микроэлементов характеризуется низким содержанием в воде этих озер, что, в первую очередь связано с распространением основных горных пород, которые способствуют накоплению элементов а водосборах и препятствуют вовлечению элементов в миграционные потоки и, соответственно, обогащению природных вод.

Антропогенно-закисленные озера также характеризуются более низкими содержаниями элементов в воде озер. Известно, что кислотные осадки способствуют химическому выветриванию слагающих пород. В воде кислых озер отмечены повышенные содержания As, La, Bi, V. В то же время граниты устойчивы к выщелачиванию, поэтому содержания большой группы других элементов низкие.

В природно-подкисленных озерах наблюдаются более высокие значения элементов (Co, Zп, Mn, Cr, Li, Ba, Ti, Nb, Bi, La, Ce, Pr, Nd), особенно хорошо это выражено в распределении элементов, которые не имеют широкого распространения в земной коре. Это в первую очередь связано с разнообразием горных пород, определяющих вариабельностью особенностей химического состава вод, а также развитием на водосборе болотных массивов, из которых элементы могут мигрировать в озера. Содержание алюминия и железа составило 400 и 300 мкг/л соответственно, что в десять раз превышает таковые значения в антропогенно-закисленных тундровых озерах, где почвенный слой крайне тонкий и подстилающие породы представлены гранитами. Таким образом, ландшафтно-геохимическими особенностями водосбора влияют на миграцию элементов.

**Водная миграция и антропогенное обогащение элементов в природных водах.** А.И. Перельманом [5] предложена оценка водной миграции химических элементов по коэффициенту, который определяется как отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в горных породах, почвах (или к кларку литосферы). Этот коэффициент отражает интенсивность водной миграции, определяемую свойствами самого элемента, а также степень их концентрации или рассеяния в поверхностных водах суши. Расчет коэффициентов водной миграции элементов осуществлялся по отношению к кларкам тех пород, к которым приурочены озера, что позволило получить более точные региональные характеристики, а также выделить универсальные закономерности. В табл. 2 представлены полученные в результате расчетов значения коэффициентов миграции металлов и металлоидов для озер различных субрегионов Кольского Севера. Для сопоставления приведены данные в целом для ЕТР из работы [4].

Анализ коэффициентов водной миграции элементов в водах Кольского Севера показал основные различия в интенсивности (табл. 2). В целом для выделенных регионов характерны высокие коэффициенты миграции для Se, Re, Bi и повышенные — для Mo, Cd, Sb, U. Содержания этих элементов в земной коре крайне низки, поэтому, можно предположить, что их миграция в воду имеет техногенную природу и связана с техногенной нагрузкой на регион. Следует отметить, что воды ЕТР также обогащены большой группой элементов, как следствие загрязнения центральных и южных регионов.

Особенности геологической структуры (апатито-нефелиновые сиениты) определяют повышенное содержание Se, Bi, Re, Cs, тогда как высокое содержание элементов Cu, Ni, Mo, Cd, Sb в воде озер обусловлено дымовыми выбросами и кислотным выщелачиванием.

Интенсивность рассеивания наиболее распространенных в земной коре элементов Fe, Al, Ti, Mn в субрегионах характеризуется следующими особенностями: в зоне влияния плавильных производств поступление Fe, Al и Ti не так высока, как в таежной и тундровой зонах. Развитие болотных массивов способствует выносу этих элементов в водные объекты. Концентрация Mn также возрастает в таежной зоне вследствие усиления биогенной миграции. Наряду с Mn во всех трех субрегионах возрастают концентрации Cu, Zn и Cd.

Таблица 2

**Интенсивность водной миграции (концентрации и рассеяния) элементов в водах озер различных субрегионов Кольского Севера и в целом для ЕТР по типу слагающих пород**

Интенсивность водной миграции (концентрации и рассеяния)	Коэффициент водной миграции (концентрации и рассеяния)	Озера в зоне влияния плавильных (базальты, габбро), n=4	Антропогенно-закисленные озера (кварцевые пески, граниты), n=11	Природно-подкисленные озера заболоченных массивов (граниты), n=6	Европейская часть России в целом [4]
Очень сильная	> 100	<b>Se, Cs, Bi, Re</b>	<b>Ni, Se, Re, Bi</b>	<b>Se, Re, Bi</b>	<b>Re</b>
Сильная	1-100	Ba, Ni, Cu, Zn, B, Li, Sc, V, La, Ce, <b>Mo</b> , Pb, Sn, <b>Cd, Sb, As, U</b> , Ag, W, Be	Cu, Co, Zn, Sr, Pb, Mn, <b>Cd, Li, Mo, Sb, As</b> , Be, B, Sc, Sn, Cs, V, Ag, W	Cu, Ni, Co, Zn, Sr, Pb, Cd, Cr, Li, <b>Mo, U, Sb, As</b> , Be, B, Sc, V, Ag, Cs, La, Ge, Gd, Pr, Nd	<b>Se, Cd, B, Cs, Bi, Mo, As, Sr, Sb, Li, U, Rb</b>
Средняя	0.05-1	Mn, Pr, Nd, Cr, Ga, Th, Co, Gd	Cr, <b>U</b> , Fe, Rb, Ba, Ti, Ga, Y, Nb, La, Ce, Gd, Pr, Nd, Th	Al, Fe, Mn, Cr, Rb, Ba, Sn, Y, W, Th	Sc, Sn, Zn, Ba, Cu, Ni, Mn, W, La, Cr, Fe
Слабая	0.001-0.05	Fe, Al, Ti, Sr, Zr, Nb	Al, Zr	Ti, Ga, Zr, Nb	Be, Ce, Pr, Co, Y, Nd, Gd, Pb, Ti, Al, Th, V, Zr, Ga, Nb
Очень слабая	< 0.001	—	—	—	—

Примечание: жирным шрифтом выделены редкие элементы, высокий коэффициент концентрации которых в поверхностных водах суши обусловлен преимущественно антропогенным поступлением, прочерк — отсутствие элементов с данным коэффициентом миграции.

Группа лантаноидов (La, Ce, Pr, Nd) наряду с сопутствующими элементами (Al, Fe, Be) обладает высокими миграционными свойствами. В антропогенно-закисленных озерах эта группа элементов в меньшей степени вовлечена в транспортные потоки, поскольку закисленные озера приурочены к гранитным массивам. Элементы U и Re обладают высокой миграционной способностью и в большем количестве накапливаются в озерах, приуроченных к источнику аэротехногенного загрязнения и болотным массивам. В зоне влияния плавилен происходит обогащение вод Ni и Cu, в меньшей степени Co. Ва не обладает высокой подвижностью, поэтому его содержание в природных ландшафтах не столь значительное.

**Экологическая опасность металлов и металлоидов.** Многие металлы, содержащиеся в природных объектах, способны вовлекаться в биогеохимические циклы и накапливаться в живых организмах, а также оказывать прямое токсическое действие и обуславливать отдаленные негативные последствия [3]. Элементы подразделяют на эссенциальные (биофильные) и неэссенциальные (токсичные). К первым относится большая группа металлов, таких, как Fe, Co, Cu, Cr, Mn, Zn и др. В небольших концентрациях эти элементы не оказывают токсического воздействия на живые организмы, а наоборот, являются необходимыми для нормальной жизнедеятельности организмов.

Экотоксичные свойства элементов определяются формами их нахождения. Важной особенностью металлов, как элементов загрязнения, является то, что после попадания в окружающую среду, их потенциальная токсичность и биодоступность в большой степени определяются формой нахождения. В последние годы в глобальном (региональном) масштабе отмечается тенденция обогащения вод озер опасными элементами: Pb, Cd, Al, Cr и другими [3]. Наибольший вклад в иннактивацию металлов вносят гумусовые вещества природных вод. Известно, что антропогенное закисление вод способствует усилению токсичных свойств металлов, поскольку в этих условиях металлы находятся преимущественно в ионных формах. Для примера, концентрация Al в 30 мкг/л в прозрачных кислых водах способна привести к гибели водного населения, тогда как 400 мкг/л в цветных обогащенных гумусом водах не оказывали токсичное влияние [3]. Для оценки экологических последствий рассеивания элементов необходимо учитывать не только концентрации в воде, но и химический состав природных вод, в особенности содержание кальция и гумусовых веществ [4]. Несмотря на то, что в наших исследованиях концентрации многих элементов в природных подкисленных водах с высоким содержанием гумуса были даже больше по сравнению с антропогенно-закисленными озерами, экологическая опасность повышения концентраций элементов в последнем случае значительно выше.

В последние годы особую тревогу ученых вызывает глобальное повышение содержания в окружающей среде Hg, Cd и Pb. В наших исследованиях были выявлены повышенные концентрации таких элементов как Cu, Ni, Cd, Vi, Mo, Cr, Se, Re. Кратко остановимся на экотоксичных свойствах выделенной группы элементов.

Исследованиями доказано, что в закисленной среде происходит повышенное накопление в водных организмах таких опасных элементов, как Hg, Cd, Zn, Pb и др., что объясняется крайне низким содержанием кальция в воде. Кадмий является токсичным и достаточно лабильным элементом. В последние десяти-

летия установлены факты его активной миграции в водные объекты, обусловленные кислотными осадками. Cd также попадает в окружающую среду с удобрениями. Многие литературные данные свидетельствуют о высоком уровне накопления этого элемента в водных объектах и, соответственно, в живых организмах. Кадмий способен замещать кальций в метаболических процессах, механизм его токсического действия связан с ингибированием переноса кальция протеинами [2]; [3]; [6].

Свинец — высокотоксичный элемент, который постепенно накапливается в природных водах, оказывая негативное воздействие на живые организмы. Накопление свинца в организмах приводит к разрушению клеточных органелл в результате снижения интенсивности синтеза протеиновых белков [3]. Симптомом свинцовой интоксикации у рыб может служить потемнение дистального отдела почек, сколиозы, лордозы, омертвление сенсорных клеток боковых линий [2].

Повышенное содержание никеля в природных водах приводит к поражению сердца, печени, органов зрения; он обладает канцерогенными свойствами [7]. Висмут является умеренно токсичным элементом и менее ядовит, чем свинец. Несмотря на это, в соединении с солями по степени воздействия на живые организмы он не уступает ртути [8]; [9]; [10]. Повышенные концентрации молибдена в природных водах обусловлены аэротехногенным рассеиванием от промышленных предприятий, приводящим к сердечно-сосудистым заболеваниям, подагре [11]. Накопление хрома в организме приводит к ряду заболеваний, в том числе онкологическим. Содержание Se в природных водах в небольших концентрациях необходимо для нормального функционирования организмов. Повышение концентрации Se связано с человеческой деятельностью и может оказывать сильное токсическое воздействие, являясь канцерогенным элементом [12]; [13].

В наших исследованиях не выявлено концентраций металлов, значительно превышающий ПДК, в то же время может наблюдаться синергетическое действие группы металлов, способное создавать токсичные условия для обитателей вод. Особо следует учитывать, что повышенные концентрации металлов действуют на фоне низкоминерализованных и закисленных вод. В этих условиях проникающая способность и токсичное действие металлов многократно усиливаются [3].

**Заключение.** Малые озера Кольского Севера лучше всего отражают особенности формирования их химического состава, а также уровень антропогенного загрязнения регионального масштаба. Обогащение вод теми или иными элементами происходит вследствие антропогенного рассеивания элементов и выщелачивание их кислотными осадками. Озера, находящиеся в непосредственной близости от источника загрязнения, характеризуются повышенными содержаниями Al и Fe, как результат пылевой эмиссии и кислотного выщелачивания осадками, а также Cu, Ni, Mn. Антропогенно-закисленные озера тундрово-таежного региона характеризуются повышенными содержаниями Al, Fe и Mn вследствие увеличения площадей заболоченных территорий, As, La, Bi, V, обусловленные антропогенной нагрузкой на водосборы. Озера, приуроченные к болотным массивам, характеризуются повышенными содержаниями Fe, Al и высокими Mn вследствие усиления биогенной миграции этого элемента.

Увеличение содержания лантаноидов в природных водах обусловлено высокой миграционной способностью. Повышение концентраций опасных элементов в окружающей среде и в природных водах может негативным образом сказываться на состоянии водных экосистем и на здоровье человека. Выявленные повышенные концентрации большой группы элементов могут оказывать синергетические эффекты на живые организмы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вернадский В.И. Биосфера и ноосфера. М.: Наука, 1989. 261 с.
2. Мур Дж. В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. М.: Мир, 1987. 285 с.
3. Моисеенко Т.И., Кудрявцева Л.П., Гашкина Н.А. Рассеянные элементы в поверхностных водах суши. М.: Наука, 2006. 261 с.
4. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
5. Перельман А.И. Геохимия природных вод. М.: Наука, 1982. 154 с.
6. Satarug, S., Baker, J.R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P.E.B., Williams, D.J., Moore, R. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population // *Toxicology letters*. 2003. V. 137. Pp. 65-83.
7. Сидоренко Г.И., Ицкова А.И. Никель (гигиенические аспекты охраны окружающей среды). М.: Медицина, 1980. 176 с.
8. Улахович Н.А. Комплексы металлов в живых организмах // *Металлы в живых организмах* // Соросовский образовательный журнал. 1997. № 8. С. 27-32.
9. George, W. *Ware Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. London, 1993. 412 p.
10. ICME. International Council on Metals and the Environment. Persistence, bioaccumulation and toxicity of metals and metal compounds. Washington: Parametrix Inc., 1995. 93 p.
11. Оноприенко М.Г. Вода питьевая и здоровье. Сочи, 2002. 63 с.
12. Eisler, R. Selenium. *Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants, and animals*. Vol. 3. Boca Raton, FL: Lewis publishers, CRC Press, 2000. Pp. 1649-1705.
13. Hamilton, S.J. Rationale for a tissue-based selenium criterion for aquatic life // *Aquatic Toxicology*. 2002. V. 57. Pp. 85-100.

## REFERENCES

1. Vernadskij, V.I. *Biosfera i noosfera* [Biosphere and noosphere]. Moscow: Nauka, 1980. 261 p. (in Russian).
2. Moore, J.W., Ramamoorthy, S. *Tjzhelye metally v prirodnyh vodah* [Heavy metals in natural waters]. Moscow, 1987. 285 p. (in Russian).
3. Moiseenko, T.I., Kudrjavceva, L.P., Gashkina, N.A. *Rassejannye jelementy v poverhnostnyh vodah sushi* [Trace elements in continental surface waters]. Moscow: Nauka, 2006. 261 p. (in Russian).
4. Moiseenko, T.I., Gashkina, N.A. *Formirovanie himicheskogo sostava vod ozer v uslovijah izmenenija okruzhajushhej sredy* [Lake waters chemical composition formation under the conditions of environment changes]. Moscow: Nauka, 2010. 268 p. (in Russian).
5. Perel'man, A.I. *Geohimija prirodnyh vod* [Geochemistry of natural waters]. Moscow: Nauka, 1982. 154 p. (in Russian).
6. Satarug, S., Baker J.R., Urbenjapol, S., Haswell-Elkins, M., Reilly, P.E.B., Williams, D.J., Moore, R. A global perspective on cadmium pollution and toxicity in non-occupationally exposed population. *Toxicology letters*. 2003. V. 137. Pp. 65-83.

7. Sidorenko, G.I., Ickova, A.I. *Nikel' (gigienicheskie aspekty ohrany okruzhajushhej sredy)* [Nickel (hygienic aspects of environmental control)]. Moscow, 1980. 176 p. (in Russian).
8. Ulahovich, N.A. Metal complexes in living organisms // Metals in living organisms. *Sorosovskij obrazovatel'nyj zhurnal — Sorovsky Educational Journal*. 1997. № 8. Pp. 27-32. (in Russian).
9. George, W. *Ware Reviews of Environmental Contamination and Toxicology*. London, 1993. 412 p.
10. ICME. International Council on Metals and the Environment. Persistence, bioaccumulation and toxicity of metals and metal compounds. Parametrix Inc., 1995, Washington, USA 93 p.
11. Onoprienko, M.G. *Voda pit'evaja i zdorov'e* [Potable water and health]. Sochi, 2002. 63 p. (in Russian).
12. Eisler, R. Selenium. Handbook of chemical risk assessment: health hazards to humans, plants, and animals. Vol. 3. Boca Raton, FL: Lewis publishers, CRC Press, 2000. Pp. 1649-1705.
13. Hamilton, S.J. Rationale for a tissue-based selenium criterion for aquatic life. *Aquatic Toxicology*. 2002. V. 57. Pp. 85-100.