

УДК 504.4:551.312:556.431(571.16)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ СЛАБОПРОТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ ТОМСКОГО РАЙОНА

Иванов Андрей Юрьевич,

старший преподаватель кафедры геоэкологии и геохимии
Института природных ресурсов Национального исследовательского
Томского политехнического университета,
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30. E-mail: Ivanov-13@mail.ru

Актуальность работы обосновывается необходимостью разработки критериев оценки состояния окружающей среды. Донные отложения депонируют в себе поступающие в водоемы химические элементы из природных и техногенных источников и могут служить индикатором антропогенного изменения природной среды.

Цель работы: изучение специфики изменения химического элементного состава и выявление вероятных источников поступления химических элементов в донные отложения слабопроточных водоемов юга Томской области.

Методы исследования: детальное мелкосекционное опробование донных отложений разнотипных слабопроточных водоемов, инструментальный нейтронно-активационный анализ (количественное определение 29 химических элементов), атомно-адсорбционный метод «холодного пара» (определение Hg), методы α -спектрометрии (^{241}Am) и гамма-спектрометрии (^{137}Cs , ^{210}Pb).

Результаты. Выделено три типа слабопроточных водоемов по характеру распределения элементов в вертикальном профиле донных отложений Томского района: первый – тип равномерного распределения со слабо проявленными аномалиями (оз. Ларино (оз. Ум)), что указывает на преимущественно кластогенное поступление элементов-примесей в водоем; второй – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в верхней части (оз. в с. Тимирязевское), связанных с периодическим и неравномерным привнесением загрязняющих веществ в водоем, например, в результате половодья; третий – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями (Черное озеро), указывающими на резкую смену геохимической обстановки, соответствующей периоду 1950–1960 гг., что приходится примерно на десятисантиметровый интервал в вертикальной колонке донных отложений. Смену геохимических ассоциаций можно приурочить к строительству Сибирского химического комбината и началу промышленной перестройки г. Томска.

Ключевые слова:

Вертикальное распределение, донные отложения, слабопроточные водоемы, элементы-примеси, окружающая среда.

Введение

Донные отложения часто служат источником информации о хронологии поступления техногенных радионуклидов и прочих загрязнителей (тяжелых металлов, хлорорганических соединений) в окружающую среду. Эффективность использования донных отложений в качестве инструмента для оценки изменчивости состояния окружающей среды отражена в многочисленных исследованиях [1–6]. Показано, что, несмотря на миграцию ряда химических элементов в донных отложениях, они служат достаточно надежной депонирующей средой для выявления периодов интенсивного поступления химических элементов в водоемы.

Характер вертикального распределения элементов-примесей в донных отложениях зависит от большого количества факторов, таких как химические свойства элементов, гидрогеологический режим, климатические и окислительно-восстановительные условия, интенсивность атмосферных выпадений и др.

Как правило, толщина слоя осадка, выпавшего за последнее столетие в озерах, не превышает нескольких десятков сантиметров [7]. Это позволяет при детальном секционном опробовании на сравнительно небольшом интервале разреза проследить характер временной изменчивости поступления в донные отложения большой группы химических элементов, изучить закономерности и оце-

нить природу их накопления. В связи с этим с целью оценки техногенного влияния на территорию юга Томского района был изучен характер вертикального распределения элементов-примесей в донных отложениях в нескольких слабопроточных водоемах: оз. Ларино (оз. Ум), озеро с. Тимирязевское, Черное озеро, находящихся на различном расстоянии от основных источников техногенного воздействия Томск-Северской промышленной агломерации (рис. 1).

Цель работы заключалась в изучении специфики изменения химического элементного состава и в выявлении вероятных источников поступления химических элементов в донные отложения слабопроточных водоемов юга Томской области. Для этого оценивались уровни накопления и исследовались закономерности распределения химических элементов в вертикальном профиле донных отложений.

Характеристика объектов исследования

Исследуемые озера располагаются на территории Томского района (рис. 1). В г. Томске и его округе существует ряд промышленных объектов федерального значения: предприятие госкорпорации «Росатом» Сибирский химический комбинат (СХК), приборный, электротехнический, радиотехнический и другие заводы, а также Томский нефтехимический комбинат (ТНХК). Каждый из

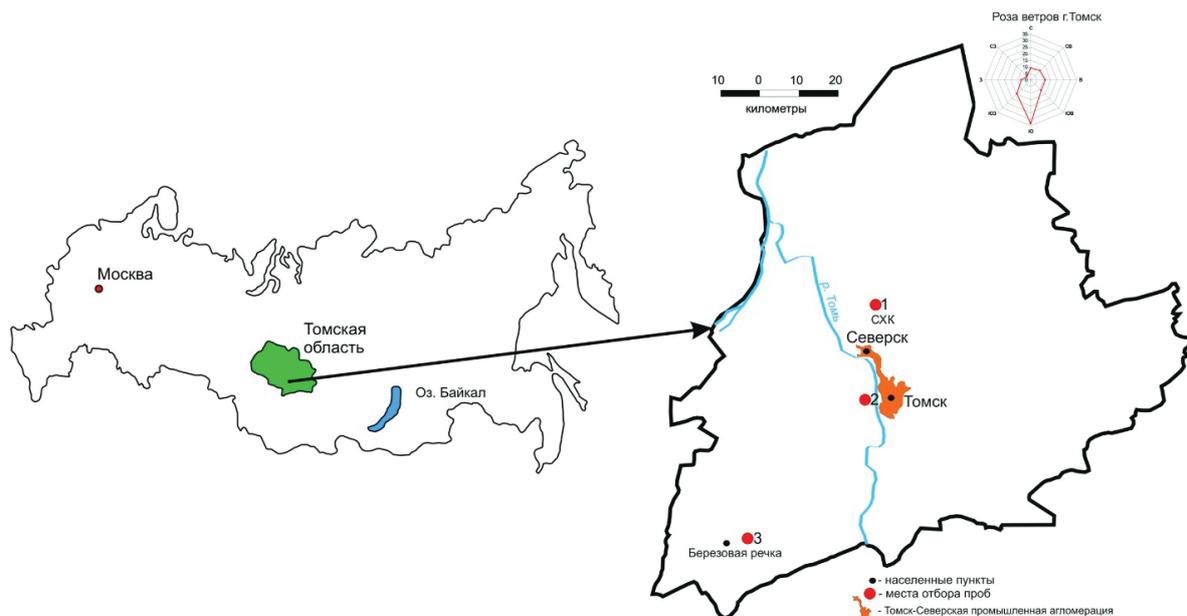


Рис. 1. Схема размещения исследуемых озер на территории Томского района (1 – Черное озеро, 2 – оз. в с. Тимирязевское, 3 – оз. Ларино (оз. Ум))

Fig. 1. Allocation scheme of the investigated lakes in the territory of Tomsk region (1 – Lake Chyornoe, 2 – the lake in the Timiryazevskoe village, 3 – Lake Larino (Lake Um))

них оказывает характерное воздействие на окружающую среду [8].

Обследованные озера располагаются вдоль основного направления розы ветров на юго-западе и северо-востоке от г. Томска. Водоминеральное питание озер осуществляется грунтовыми водами и в некоторых случаях паводковыми. Все исследуемые озера являются пресными.

Озеро Ларино (оз. Ум) расположено к юго-западу от города Томска на расстоянии 40 км и рассматривается как объект, расположенный в зоне наименьшего влияния Томск-Северской промышленной агломерации. Озеро находится в сосновом бору, размещается среди эоловых (дюнных) песков. Площадь водной поверхности составляет около 10 га (500×200 м), средняя глубина – 3 метра.

Озеро в с. Тимирязевское расположено в пойме р. Томи, в левобережье, непосредственно вблизи крутого яра, ограничивающего пойму. Представляет собой старицу. Залегает среди песчано-галечниковых пойменных отложений. Площадь водной поверхности 0,3 га. Длина озера свыше 150 м, ширина не превышает 20 м.

Черное озеро расположено к северо-востоку от Томска в зоне непосредственного влияния Сибирского химического комбината, на р. Песочке. Площадь водной поверхности 36 га, размеры 450×800 м.

Методика исследований

Опробование донных отложений было начато в 2004 г. и выполнялось сотрудниками кафедры геоэкологии и геохимии, а в 2006–2009 гг. – автором статьи. Отбор проб производится с помощью спе-

циального пробоотборника, позволяющего проводить детальное опробование колонки донных отложений. Интервал отбора изменялся от 0,015 до 0,4 м в зависимости от поставленной задачи. В каждом из озер выполнено детальное поинтервальное опробование донных отложений. Пробы высушивались в естественных условиях, удалялись любые включения, после чего растирались и просеивались через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Для количественного определения содержания исследуемых химических элементов в донных отложениях применялись современные ядерно-физические методы анализа. В качестве основного метода использовался многоэлементный инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), выполненный в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии (ЯГЛ ГЭГХ) Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская). Достоверность полученного аналитического материала подтверждается результатами интеркалибровок метода ИНАА по многочисленным стандартным образцам сравнения, в том числе с байкальским илом (БИЛ) (таблица) [9].

Содержание ртути в донных отложениях было определено методом атомной адсорбции на приборе РА-915М с приставкой ПИРО-915+ (аналитик Н.А. Осипова).

Метод определения ртути основан на термической атомизации содержащейся в пробе ртути в приставке ПИРО-915+ и последующем ее определении методом беспламенной атомной абсорбции на анализаторе ртути РА-915М.

Таблица. Результаты определения содержания химических элементов в стандартном образце сравнения БИЛ (донные отложения оз. Байкал)

Table. Results of estimation of chemical element content in a standard sample of bottom sediments of Lake Baikal

Стандартный образец Standard sample	La	Ce	Nd	Eu	Sm
БИЛ-1	45±6 ⁽¹⁾	80±5	39±5	1,4±0,2	7±1
ЯГЛ ТПУ	43,2±0,8 ⁽²⁾	71,1±3,6	38,4±2,2	1,35±0,04	7,0±0,2
Стандартный образец Standard sample	Yb	Lu	Sc	U	Th
БИЛ-1	2,9±0,4	0,40±0,05	13±2	12,0±1,1	12,7±1,3
ЯГЛ ТПУ	2,7±0,10	0,40±0,01	12,6±0,26	11,2±0,7	14,9±2,1

Примечание: ⁽¹⁾ – паспортные данные; ⁽²⁾ – результаты ИНАА.

Note: БИЛ is Baikal silt; ЯГЛ ТПУ is the nuclear geochemical laboratory at Tomsk Polytechnic University; ⁽¹⁾ are the nameplate data; ⁽²⁾ are the results of the INNA.

Определение удельной активности америция проводилось методом α -спектрометрии по стандартной методике в Институте геологии и минералогии СО РАН (аналитик М.С. Мельгунов) [10].

Определение содержания радиоцезия проводилось на гамма-спектрометрах с колодезными сцинтилляционными кристаллами NaI (Тl) размерами 200×200 и 150×150 мм [11]. Нижний предел определения ¹³⁷Cs в этом случае составляет 0,01–0,03 Бк/кг.

²¹⁰Pb анализировался гамма-спектрометрическим инструментальным способом путем регистрации естественной рентгеновской линии 46,5 кэВ на планарном полупроводниковом детекторе с защитой от естественного излучения на основе особо

чистых свинца и вольфрама, из навесок от 10 до 50 г, при строго выдержанной геометрии измерения [12].

Результаты исследований и их обсуждение

Анализ характера вертикального распределения элементов-примесей в колонке донных отложений Томского района позволил выделить три типа их распределения:

1 – тип нормального распределения, без явно выраженных локальных аномалий. Изменчивость содержания химических элементов здесь обусловлена постепенным (эволюционным) изменением состава донных отложений и преимущественно природными факторами.

2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в различных частях донных отложений. Может быть обусловлен как природными, так и антропогенными факторами.

3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями в верхней части разреза, сформировавшимися под воздействием интенсивного изменения окружающей среды, главным образом под влиянием техногенной нагрузки.

Поинтервальное изменение содержания некоторых микроэлементов в донных отложениях более подробно нами рассмотрено на примере озера Ларино (оз. Ум), принятого в качестве фонового [9], старичного озера в с. Тимирязевское, расположенного в черте г. Томска, и Черного озера, расположенного в зоне влияния Сибирского химического комбината.

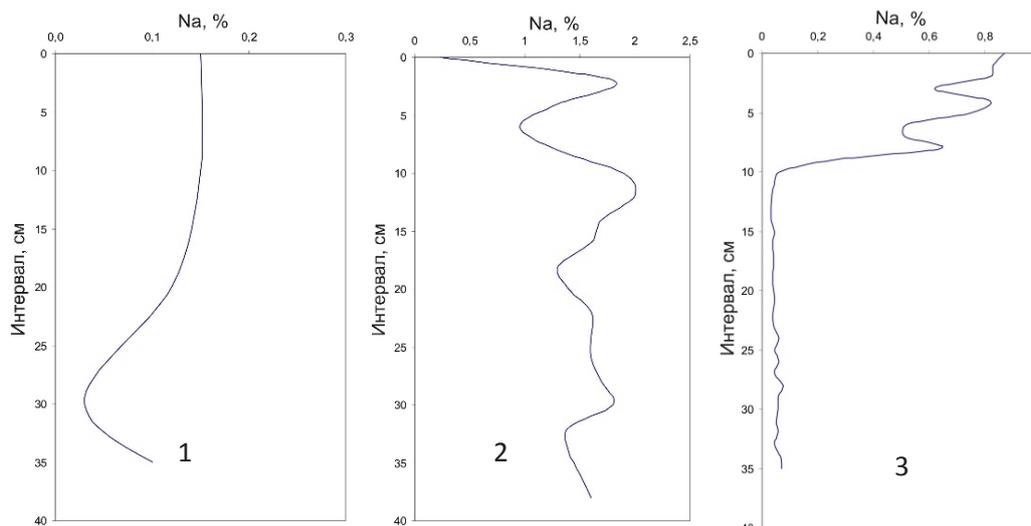


Рис. 2. Основные типы распределения натрия в донных отложениях: 1 – тип равномерного распределения со слабо проявленными аномалиями (оз. Ларино (оз. Ум)); 2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением слабовыраженных аномалий в верхней части (оз. в с. Тимирязевское); 3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями (Черное озеро)

Fig. 2. The basic types of Na distribution in bottom sediments: 1 is the type of equal distribution with weakly shown abnormalities (Lake Larino (Lake Um)); 2 is the type of weakly differentiated distribution with occurrence of mild abnormalities in the upper part (the lake in the Timiryazevskoe village); 3 is the type of rapid differentiated distribution with the contrasting abnormalities (Lake Chyornoe)

Среди исследованных петрогенных химических элементов особого внимания заслуживают Na и Ca, отражающие разные условия накопления донных отложений. Натрий указывает на ведущую роль терригенно-иловых осадков, а кальций – карбонатных сапропелей. Для распределения натрия (рис. 2) в озере Ларино (оз. Ум) характерно постепенное возрастание его содержания от нижнего интервала до глубины 10 см и стабилизация на этом уровне. Так как озеро Ларино (оз. Ум) рассматривается нами как фоновое в отношении техногенного воздействия, то можно заключить, что в последние 50 лет природно-климатические условия сколько-нибудь существенно не изменялись. В озере в с. Тимирязевское отмечено достаточно неравномерное распределение Na с выделением двух пиков накопления в интервалах 3 и 12 см, что может быть обусловлено как антропогенными, так и природными факторами в связи с поступлением различного материала в этот водоем в периоды половодий. В Черном озере (СХК) отмечено ярко выраженное контрастное накопление натрия с интервала 10 см. Очевидно, что с этого времени произошло резкое изменение состава донных отложений.

Распределение кальция в разрезе донных отложений отличается от натрия и характеризует смену карбонатных (сапропелевых) отложений иловыми и терригенными и наоборот. В озере Ларино (оз. Ум) оно довольно равномерно, в старичном озере с. Тимирязевское относительно неравномерно, а в Черном озере – резко контрастно. В последнем случае оно уменьшается с 32 % на глубине 10 см (превышение среднего значения в донных отложениях юга Томской области более чем в 17 раз) до

2 % на глубине 0–8 см (рис. 3). В оз. Ум содержание кальция хоть и неравномерное, но изменяется в небольшом пределе – от 0,4 до 0,6 %. В озере с. Тимирязевское накопление тоже неравномерное, небольшие пики приходятся на 15 и 23 см, а с 10 см происходит постепенное его увеличение.

Распределение Fe в большей степени похоже на распределение Na, чем на геохимически близкий к нему кальций, что указывает на терригенную природу его накопления в исследуемых озерах. В Черном озере содержание железа увеличивается в верхней части разреза начиная с 10-сантиметрового интервала, от предела обнаружения элемента до 6 %, при среднем содержании 4,2 %. Аналогичная ситуация и в оз. с. Тимирязевское, где один пик начинается с 10 см, а другой приходится на 17 см (рис. 4).

Микроэлементы часто являются более чувствительными, чем макроэлементы, к смене геохимической обстановки и могут более ярко отразить изменение условий накопления донных отложений во времени.

Наиболее близкий тип распределения во всех изученных водоемах показывают элементы-гидролизаты: лантаноиды, Hf, Sc и Th. Вертикальное распределение лантаноидов в донных отложениях озер юга Томской области имеет неравномерный характер. В Черном озере практически во всех рассматриваемых разрезах лантаноиды накапливаются с 10-сантиметрового интервала, что, скорее всего, связано с антропогенной деятельностью, обусловившей смену карбонатно-сапропелевых условий отложения на илито-терригенные (рис. 5–8). В других водоемах роль техногенного фактора отчетливо не просматривается.

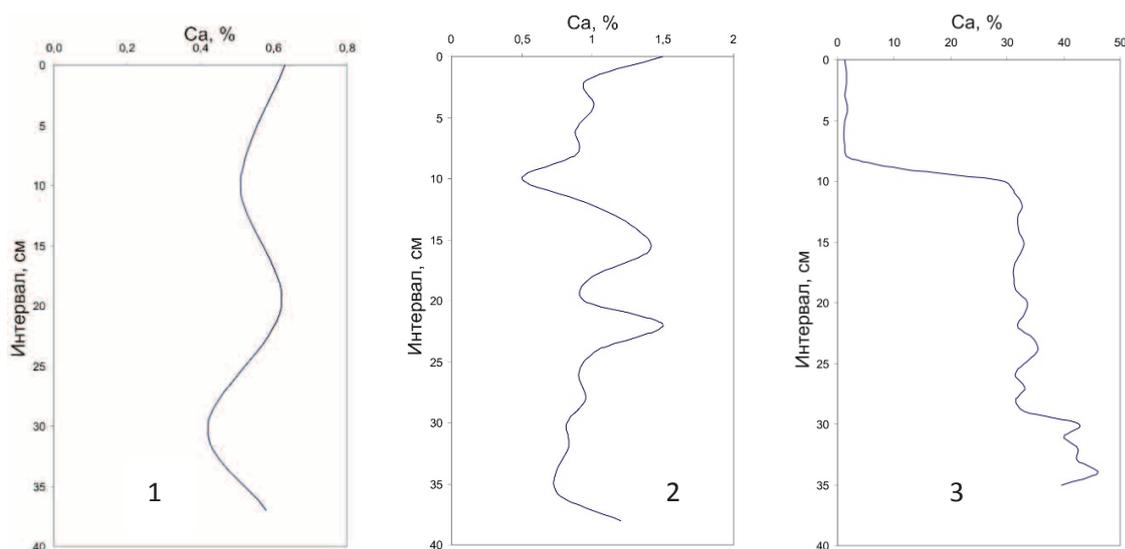


Рис. 3. Основные типы распределения кальция в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 3. The basic types of Ca distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

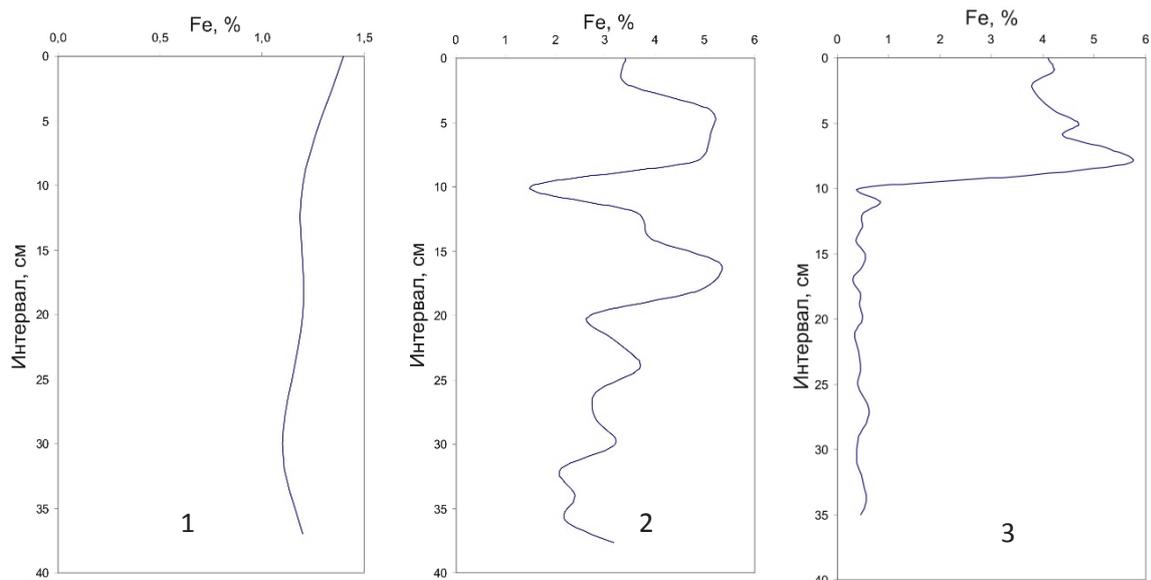


Рис. 4. Основные типы распределения железа в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 4. The basic types of Fe distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

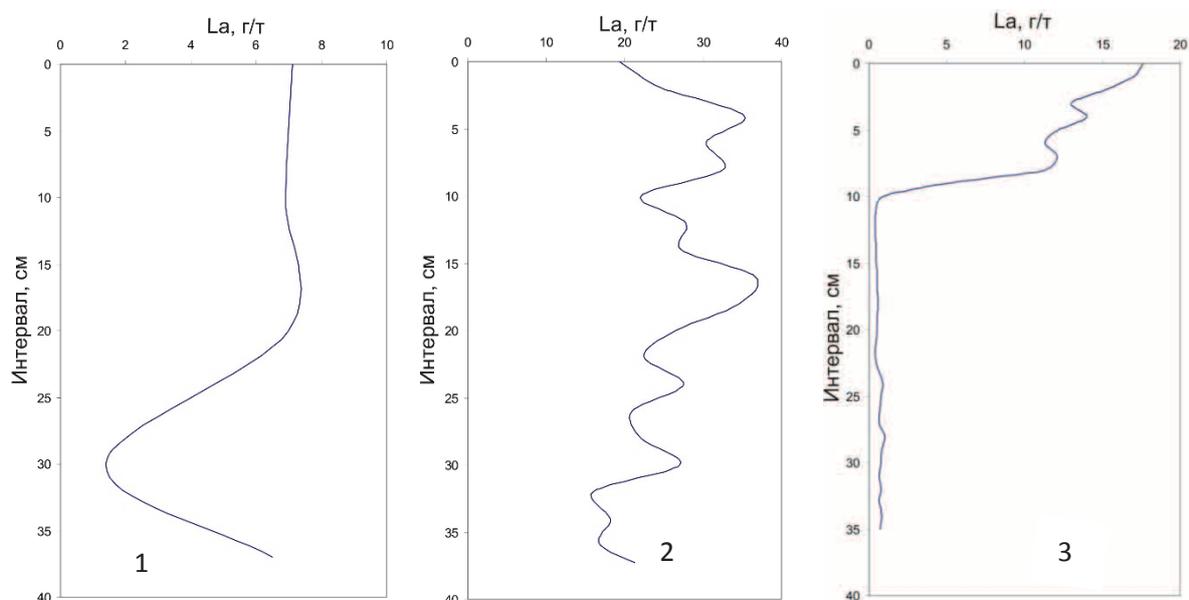


Рис. 5. Основные типы распределения лантана в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 5. The basic types of Na distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

В целом графики распределения La, Ce, Sm, Yb в каждом исследуемом слабопроточном водоеме схожи (рис. 5–8). Это сходство объясняется поведением лантаноидов в биогеохимических, геохимических и других системах [11, 13].

Гафний имеет идентичное распределение с такими элементами, как скандий и железо, во

всех трех изучаемых водоемах (рис. 9). В озере Ларино (оз. Ум) идет очень равномерное накопление гафния. В озере Черном и озере с. Тимирязевское пики увеличения содержания элемента начинаются с 10-сантиметрового интервала. Все содержания гафния находятся на уровне среднего.

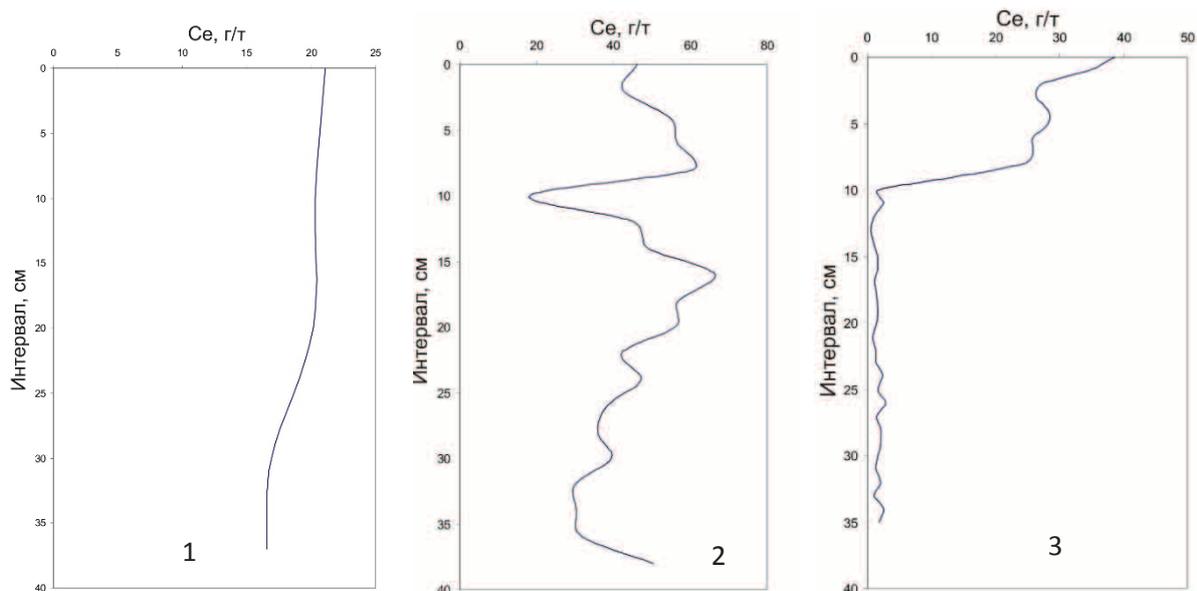


Рис. 6. Основные типы распределения церия в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 6. The basic types of La distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

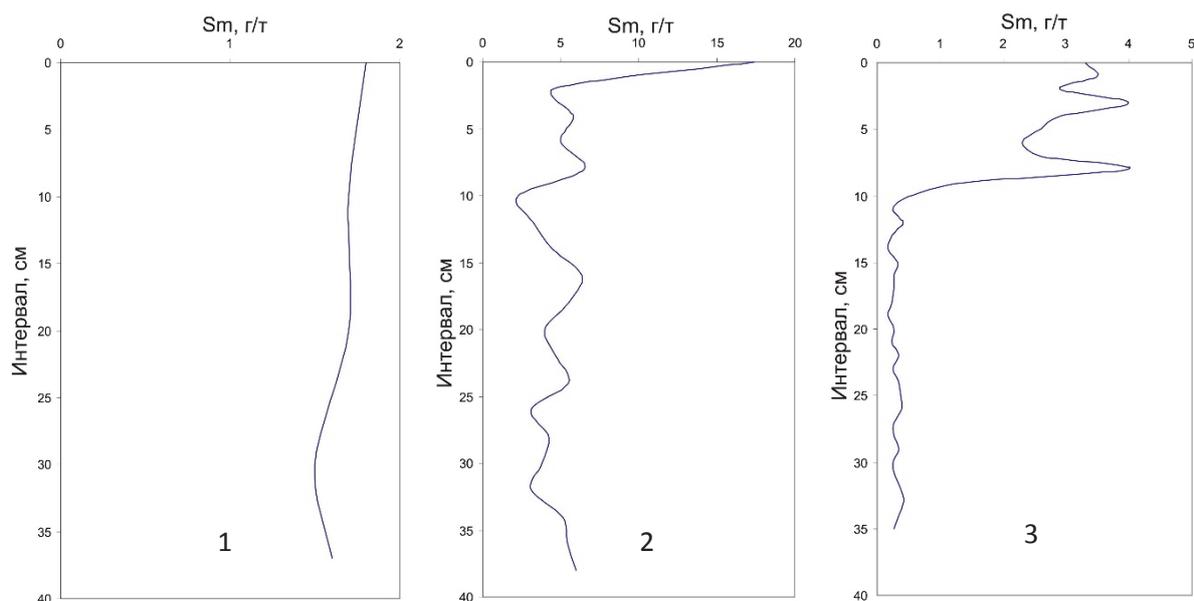


Рис. 7. Основные типы распределения самария в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 7. The basic types of Sm distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

Золото в изученных озерах имеет неоднородный характер распределения, схожий по своему накоплению с основными типами распределения золота в верховых болотах [10, 14]. Самые большие пики золота в озере Черном и озере с. Тимирязевское приходится на верхнюю часть разреза, накопление происходит в 5-сантиметровой зоне. Озеро Ум отличается плавным «зигзагообразным» накоплением элемента (рис. 10).

Распределение тория в исследуемых озерах весьма схоже по структуре накопления со многими другими элементами (Na, Fe, Hf, La, Yb) (рис. 11). В озере Ларино (оз. Ум) наблюдается плавное накопление элемента. В Черном озере и озере с. Тимирязевское отмечается один и тот же интервал повышения содержания элемента, начинающийся с 10 см. А в озере с. Тимирязевское, кроме того, по многим элементам пик приходится на интервал от 15 до 20 см.

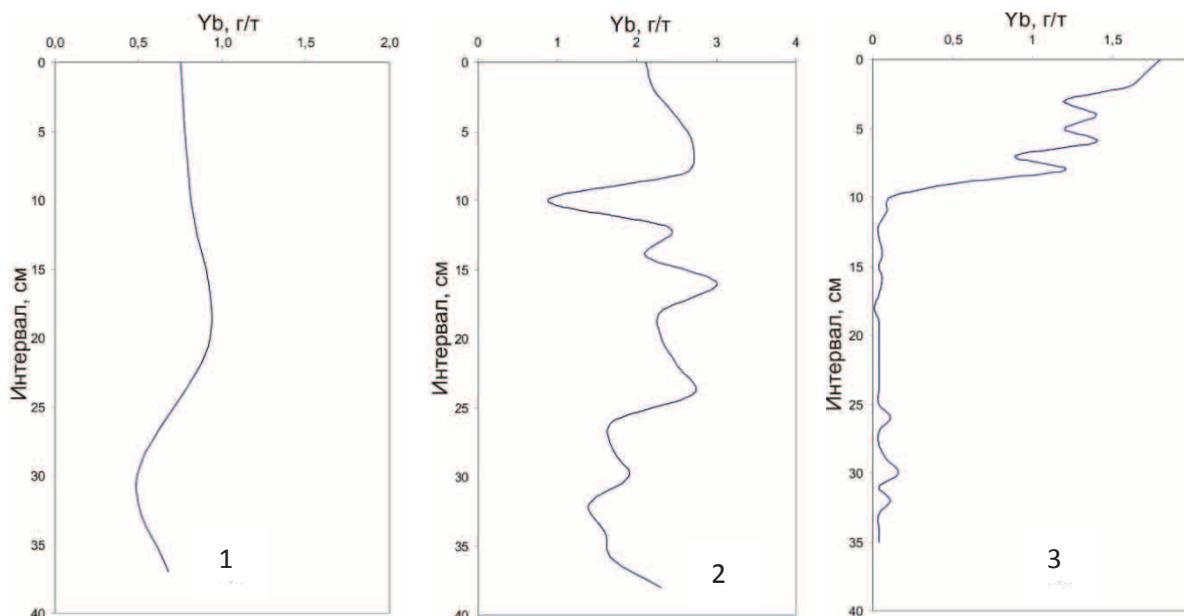


Рис. 8. Основные типы распределения иттербия в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 8. The basic types of Yb distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

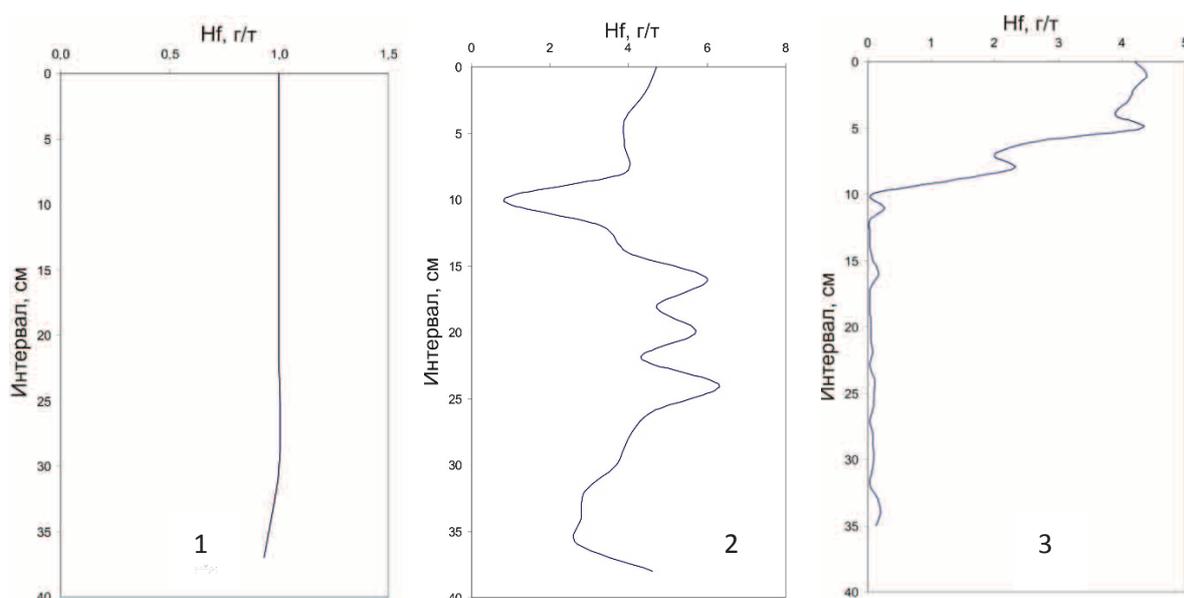


Рис. 9. Основные типы распределения гафния в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 9. The basic types of Hf distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

Содержание урана в озерах с. Тимирязевское и Черное достаточно неравномерное (рис. 12). Уран озера Черное имеет такую же тенденцию накопления, как и многие другие элементы-гидролизаты: Fe, La, Ce, Sm, Yb, Hf и Th, где пики также начнутся с 10-сантиметрового интервала. Распределение урана в разрезе озера Ум достаточно равномерное.

Th/U-отношение в вертикальной колонке донных отложений озера Ларино (оз. Ум) достаточно выдержанное, что указывает на его природный характер.

В озере с. Тимирязевское Th/U имеет резко дифференцированный характер распределения, что, вероятно, связано с природно-климатическими условиями исследуемого водоема, а именно с временными половодьями.

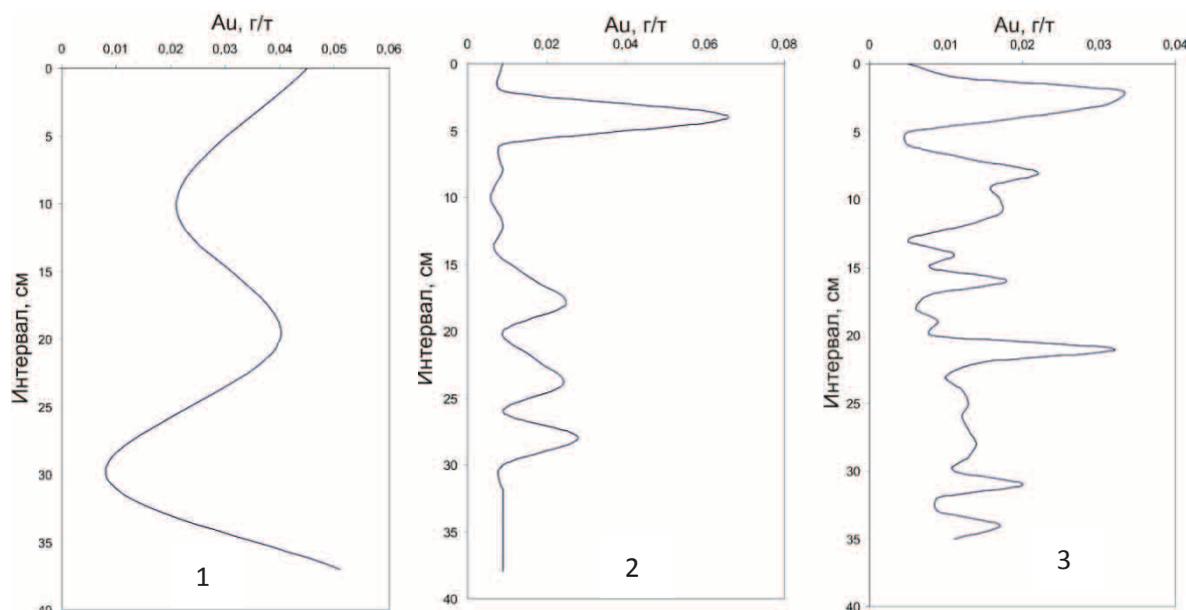


Рис. 10. Основные типы распределения золота в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 10. The basic types of Au distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

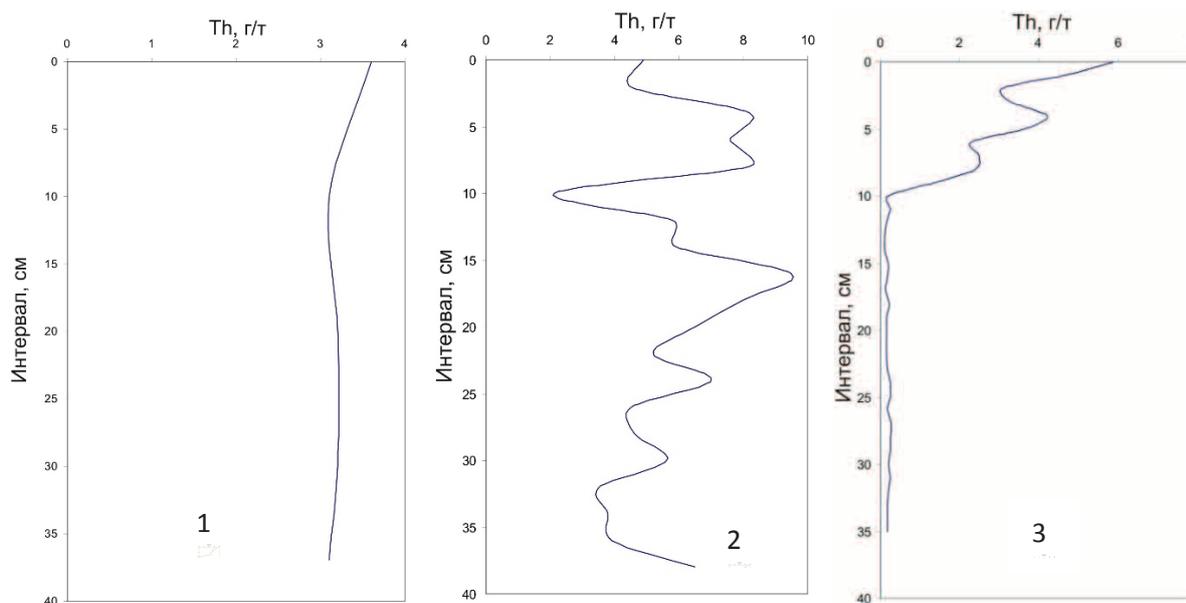


Рис. 11. Основные типы распределения тория в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 11. The basic types of Th distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

Донные отложения озера Черного в нижней части разреза характеризуются относительно выдержанным Th/U-отношением, а с глубины 10 см сменяются резко дифференцированным распределением (рис. 13). Этот факт согласуется с данными по другим элементам и указывает на изменение условий накопления донных отложений в этот период.

Распределение ртути в колонке донных отложений озера Ларино (оз. Ум) достаточно равномер-

ное, ярко выраженные аномалии не наблюдаются, что указывает на региональный фон.

Озеро, расположенное в селе Тимирязевское, имеет слабовыраженные аномалии в верхней части разреза донных отложений. На появление таких аномалий может влиять как антропогенный, так и природный фактор. Показательно, что в этом интервале содержание ртути последовательно увеличивается из года в год, что отражает общую ди-

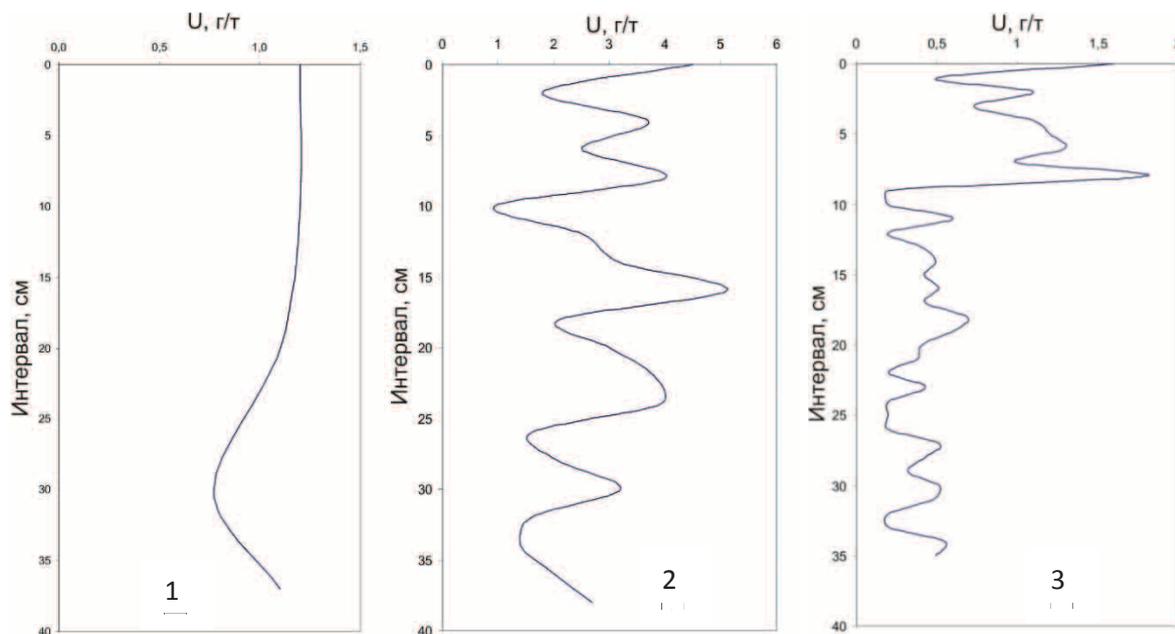


Рис. 12. Основные типы распределения урана в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 12. The basic types of U distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

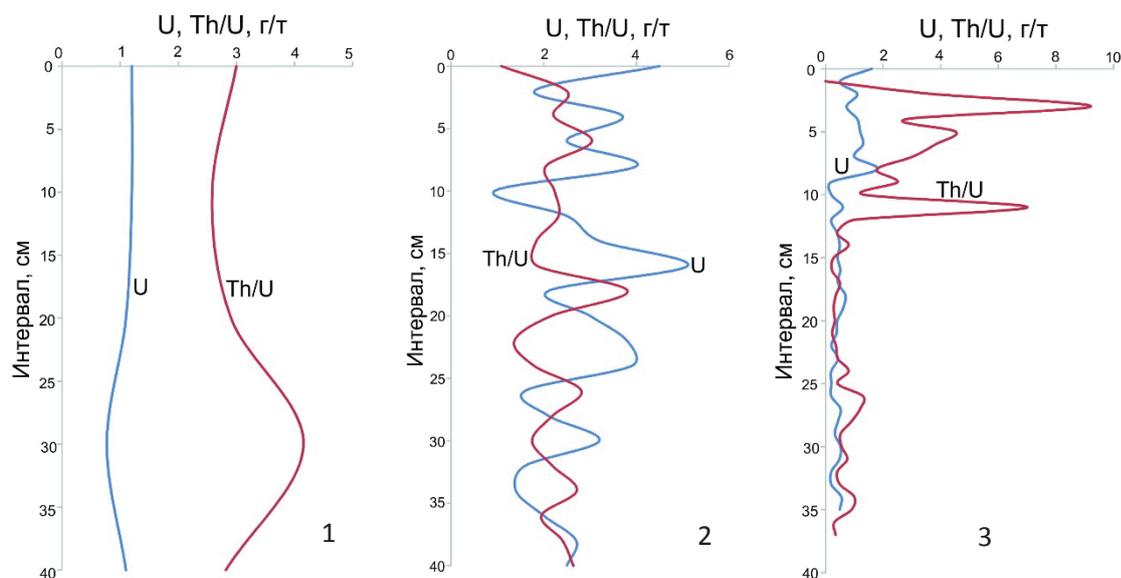


Рис. 13. Th/U-отношение в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 13. Th/U relation in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

намику глобального накопления этого элемента в биосфере [15].

Распределение ртути в озере Черном весьма схоже по структуре накопления со многими другими элементами (Na, Fe, Hf, La, Yb, Th) (рис. 14). Отмечается один и тот же интервал устойчивого возрастания ее концентрации начиная с глубины 10 см.

Идентичным характером распределения ртути обладают осадки озера Мичиган (США), расположенного в индустриальном районе, где содержание ртути в вертикальном профиле донных отложений увеличивается от нижнего горизонта к верхнему, от 0,03–0,06 г/т в нижних горизонтах до 0,38 г/т в поверхностном слое [16].

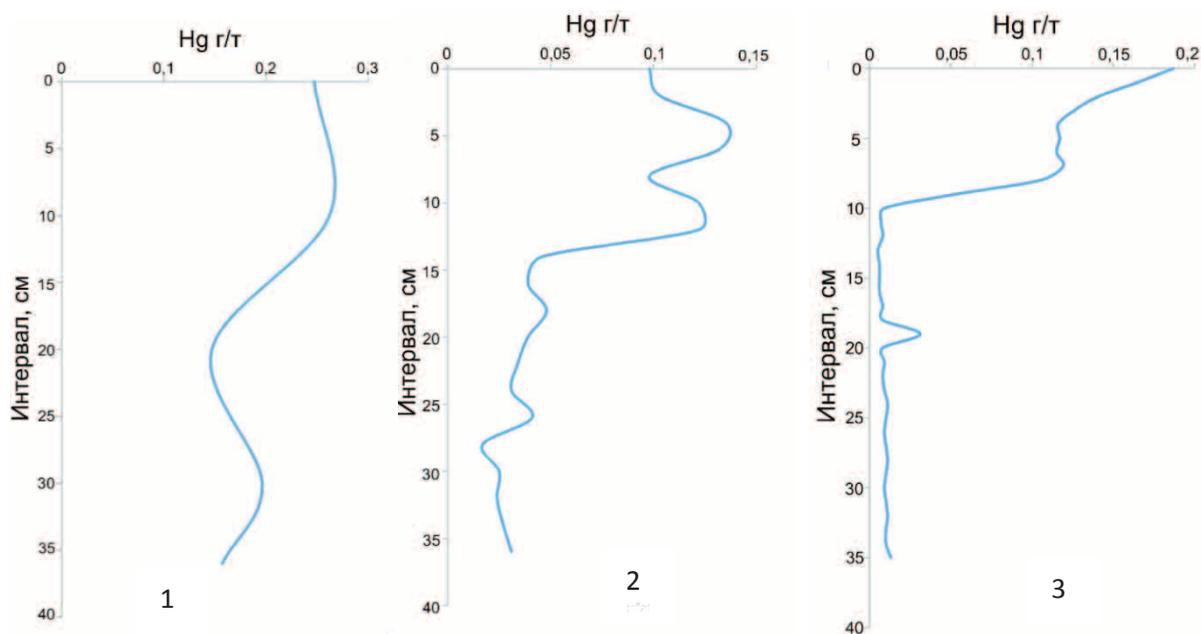


Рис. 14. Основные типы распределения ртути в донных отложениях (условные обозначения см. на рис. 2): 1 – оз. Ларино (оз. Ум); 2 – оз. в с. Тимирязевское; 3 – Черное озеро

Fig. 14. The basic types of Hg distribution in bottom sediments (see the legend of Fig. 2): 1 is Lake Larino (Lake Um); 2 is the lake in the Timiryazevskoe village; 3 is Lake Chyornoe

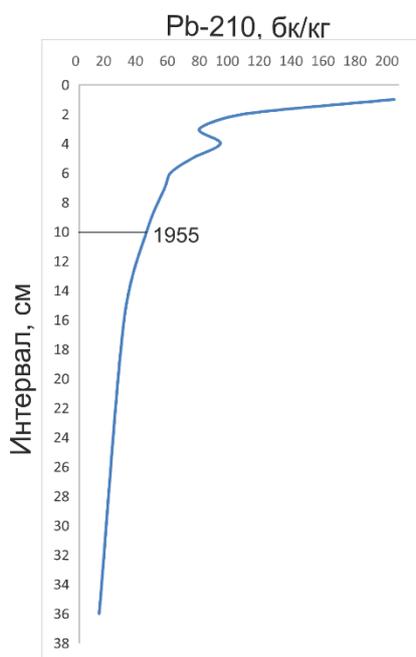


Рис. 15. Вертикальное распределение концентрации ^{210}Pb в разрезе донных отложений озера Черное

Fig. 15. Vertical distribution of ^{210}Pb concentration in section of bottom sediments in Lake Chyornoe

Отметим, что накопление не только ртути, но и всех других изученных микроэлементов, а также Na и Fe вверх по разрезу в колонке донных отложений озера Черное начинается с 10-сантиметровой

глубины. Методом датирования с использованием изотопа ^{210}Pb [17] определен возраст донных отложений оз. Черное. Отметка в 10 сантиметров соответствует 1955 году (рис. 15).

Резкое увеличение содержания всех элементов, кроме Ca, имеющего другую тенденцию накопления, говорит о резкой смене на этом рубеже геохимической обстановки. Эта смена может быть связана с ошеломляющими темпами строительства СХК с 1951 г., с поэтапным введением ТЭЦ СХК, работающей на угольном топливе, в 1953–1961 гг., а также с запуском первого атомного реактора И-1 в 1955 г. [18], оказавших влияние на особенности водно-минерального питания, состав вод и биоту озера Черное. Такие изменения обусловили смену карбонатно-сапропелевых донных отложений терригенно-илистыми.

Аналогичное накопление элементов характерно для пресноводных озер, которые охватывают большую площадь в зоне влияния угольных электростанций в провинции Альберта (Канада). В донных отложениях изученных озер наблюдается существенное повышение содержания ряда токсичных элементов, таких как ^{210}Pb и Hg, связанное с работой угольных ТЭС начиная с 1956 г. [19].

Об антропогенной природе этих изменений свидетельствует и присутствие в них ^{241}Am , ^{137}Cs , накапливающихся в изученной колонке оз. Черное в этот же интервал времени (рис. 16) [20]. Это позволяет предполагать, что причиной техногенной трансформации природной среды является деятельность Сибирского химического комбината.

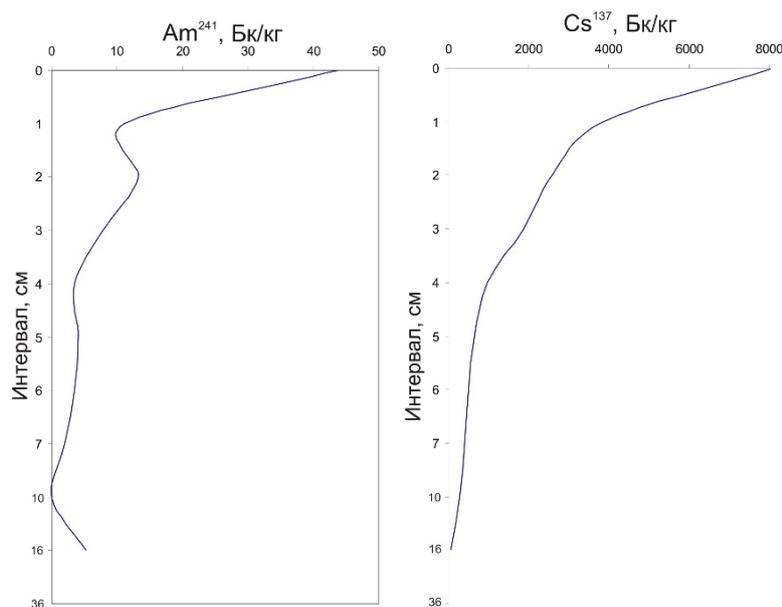


Рис. 16. Вертикальное распределение концентрации ^{241}Am и ^{137}Cs в разрезе донных отложений озера Черное

Fig. 16. Vertical distribution of ^{241}Am and ^{137}Cs concentrations in section of bottom sediments in Lake Chyornoe

Выводы

В вертикальном распределении элементов-примесей в колонке донных отложений слабопроточных водоемов юга Томской области отчетливо выделяется три типа: 1 – тип равномерного распределения со слабо проявленными аномалиями (оз. Ларино (оз. Ум)); 2 – тип слабо дифференцированного распределения с проявлением неконтрастных аномалий в верхней части (оз. в с. Тимирязевское); 3 – тип резко дифференцированного распределения с контрастными аномалиями (Черное озеро). Тип распределения зависит не только от природных условий формирования донных отложений, но и от расположения водоемов относительно источников антропогенного загрязнения.

Озеро Ларино (оз. Ум), расположенное на границе с Томским комплексным заказником республиканского значения, характеризуется минимальным техногенным воздействием, отличающимся от других выбранных озер достаточно выдержанным содержанием элементов в колонке донных отложений. Это указывает на преимущественно кластогенное поступление элементов-примесей в водоем. Причины пониженного их содер-

жания в донных отложениях могут быть связаны и с особенностями питания озерной котловины.

Слабовыраженные аномалии, приходящиеся в основном на верхнюю часть вертикальной колонки донных отложений озера, находящегося в с. Тимирязевское, могут быть связаны как с природными, так и с антропогенными факторами, или с периодическим и неравномерным привнесением загрязняющих веществ в водоем, например в результате половодья.

Озеро Черное, находящееся в непосредственной близости к г. Северску, отличается резкой сменой геохимической обстановки, соответствующей периоду 1950–1960 гг., что приходится на интервал 7–10 см в вертикальной колонке донных отложений. Смену геохимических ассоциаций можно приурочить к строительству Сибирского химического комбината и началу промышленной перестройки г. Томска. Очень схоже ведут себя практически все изученные нами элементы-примеси: As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hg, Hf, La, Lu, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb, и только Ca имеет другую тенденцию распределения, что указывает на существенное изменение геохимической обстановки в последние полвека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Страховенко В.Д., Щербов Б.Л., Маликова И.Н. Закономерности распределения микроэлементов в донных отложениях озер Сибири // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Матер. IV Междунар. научно-практ. конф. – Семипалатинск, 19–21 октября 2006 г. – Семипалатинск, 2006. – Т. II. – С. 263–269.
2. Изотопная геохимия донных отложений озер Южного Урала для оценки масштабов горнопромышленного техногенеза /
3. В.Н. Удачин, В.В. Дерягин, Р. Китагава, П.Г. Аминов // Вестник Тюменского гос. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 144–149.
4. Бобров В.А., Гофман А.М. Лабораторный гамма-спектрометрический анализ естественных радиоактивных элементов (методические разработки). – Новосибирск: Изд-во ИГиГ СО АН СССР, 1971. – 67 с.
5. Закономерности распределения радионуклидов и редкоземельных элементов в донных отложениях озер различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Мали-

- кова, Ю.С. Восель // Геологи и геофизики. – 2010. – Т. 51. – С. 1501–1514.
5. Nriagu J.O., Kemp A.L.W., Harper N. Sedimentary record of heavy metal pollution in lake Erie // *Geochim. Cosmochim. Acta.* – 1979. – V. 43. – P. 247–258.
 6. Усенков С.М., Свешников А.Г. Динамические типы дна и загрязнение донных отложений Ладожского озера // Программа «Университеты России». Геология. Ч. 2. М.: МГУ, 1995. – С. 153–158.
 7. Современное распределение естественных радионуклидов и ^{137}Cs в донных отложениях озер различных регионов Сибири / В.Д. Страховенко, Б.Л. Щербов, И.Н. Маликова, Ю.И. Маликов // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды Междунар. конф.; под ред. акад. Ю.А. Израэля. – Москва, 5–6 декабря 2005. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – Т. 2. – С. 310–316.
 8. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
 9. Иванов А.Ю. Уран и торий в донных отложениях непроточных водоемов юга Томской области // Известия Томского политехнического университета. – 2011. – Т. 318. – № 1. – С. 159–165.
 10. Межибор А.М. Экогеохимия элементов-примесей в верховых торфах Томской области: дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Томск, 2009. – 153 с.
 11. Иванов В.В. Экологическая геохимия элементов: справочник. В 6 кн. Кн. 6: Редкие f-элементы / под ред. В.К. Буренкова. – М.: Экология, 1997. – 607 с.
 12. Страховенко В.Д. Геохимия донных отложений малых континентальных озер Сибири: дис. ... д-р. геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 2011. – 307 с.
 13. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): evidence from snow, lichens and mosses / D. Aubert, G. Le Roux, M. Krachler, A. Cheburkin, B. Kober, W. Shotyk, P. Stille // *Geochimica et Cosmochimica Acta.* – 2006. – № 70. – P. 2815–2826.
 14. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform / S.I. Arbutov, L.P. Rikhvanov, S.G. Maslov, V.S. Arhipov, A.M. Belyaeva // *Int. J. Coal Geol.* – 2006. – V. 68. – № 3–4. – P. 127–134.
 15. Оценка глобального и регионального вклада, а также природной и антропогенной составляющих в общее ртутное загрязнение атмосферы Алтая / С.С. Эйрих, Т.С. Папина, Н.С. Фролова, М. Швиковски // Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты: Материалы Международного симпозиума. – Москва, 7–9 сентября 2010 г. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010 – С. 162–168.
 16. Environmental studies of mercury and other elements in coal and lake sediments as determined by neutron activation analysis / E.J. Kennedy, R.R. Ruch, H.J. Gluskoter, N.F. Shimp // *Nuclear instruments & methods in physics research section b-beam interactions with materials and atoms.* – Columbia, 1971. – P. 205–215.
 17. Титаева Н.А. Ядерная геохимия. – М.: Изд-во МГУ, 2000. – 336 с.
 18. Сибирский химический комбинат. URL: <http://atom-sib.ru/ru/история-схк> (дата обращения: 05.11.2015).
 19. Sanei H., Goodarzi F., Outridge P.M. Spatial distribution of mercury and other trace elements in recent lake sediments from central Alberta, Canada: an assessment of the regional impact of coal-fired power plants // *Int. J. Coal Geol.* – 2010. – V. 82. – № 1. – P. 105–115.
 20. Радиоактивные элементы в окружающей среде / Л.П. Рихванов, С.И. Арбузов, Н.В. Барановская, А.В. Волостнов, Т.А. Архангельская, А.М. Межибор, В.В. Берчук, Л.В. Жорняк, Ю.Л. Замятина, А.Ю. Иванов, А.В. Таловская, С.С. Шатилова, Е.Г. Язиков // Известия Томского политехнического университета, 2007. – Т. 311. – № 1. – С. 128–136.

Поступила 28.01.2016 г.

UDC 504.4:551.312:556.431(571.16)

REGULARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS DISTRIBUTION IN VERTICAL PROFILE OF BOTTOM SEDIMENTS IN LOW FLOW WATER RESERVOIRS IN TOMSK REGION

Andrey Yu. Ivanov,

National Research Tomsk Polytechnic University,
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia. E-mail: Ivanov-13@mail.ru

The relevance of the research is substantiated by the necessity to develop the assessment criteria for the environmental conditions. Bottom sediments accumulate chemical elements incoming to the water reservoirs from natural and anthropogenic sources, and can be an indicator for the anthropogenic change of environment.

The aim of the research is to study the change specificity of chemical element composition and to identify possible sources of chemical elements into bottom sediments of low flow water reservoirs in the southern part of Tomsk region.

Research methods: detailed small-section testing of bottom sediments in the low flow water reservoirs of different types, instrumental neutron activation analysis (quantitative estimation of 29 chemical elements), atomic absorption method – «cold vapor» method (Hg estimation), α -spectrometry (^{241}Am) and γ -spectrometry (^{137}Cs , ^{210}Pb).

Research findings. The author has pointed out three types of low flow water reservoirs by the nature of element distribution in the vertical profile of bottom sediments of low flow water reservoirs in Tomsk region. The first one is a type of equal distribution with weakly shown abnormalities (Lake Larino (Lake Um)). This indicates the essentially clastogenic impurity elements income to the waters. The second one is a type of weakly differentiated distribution with occurrence of mild abnormalities in the upper part (the lake in the Timiryazevskoe village), related to circulating and unsteady pollutants income to the water, for example, as a result of flooding. The third type is the one of rapid differentiated distribution with the contrasting abnormalities (Lake Chyornoe), which identify the sharp change of geochemical situation in the period of 1950–1960-s. It shows the 10 cm interval in the vertical core sample of bottom sediments. The geochemical association change can be associated with the development of the Siberian Chemical Combine and with the beginning of industrial restructuring of Tomsk.

Key words:

Vertical distribution, bottom sediments, low flow waters, impurity elements, environment.

REFERENCES

1. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Malikova I.N. Zakonomernosti raspredeleniya mikroelementov v donnykh otlozheniyakh ozer Sibiri [Laws of distribution of trace elements in sediments of lakes in Siberia]. *Tyazhelye metally i radionuklidy v okruzhayushchey srede: Mater. IV Mezhdunar. nauchno-prakt. konf.* [Heavy metals and radionuclides in the environment. Proc. IV International scientific-practical conference]. Semipalatinsk, 19–21 October 2006. Vol. II, pp. 263–269.
2. Udachin V.N., Deryagin V.V., Kitagava R., Aminov P.G. Izotopnaya geokhimiya donnykh otlozheniy ozer Yuzhnogo Urala dlya otsenki masshtabov gornopromyshlennogo tekhnogeneza [Isotope geochemistry of bottom sediments of lakes of the South Urals to assess the scope of the mining technogenesis]. *Vestn. Tyumenskogo gos. un-ta*, 2009, no. 3, pp. 144–149.
3. Bobrov V.A., Gofman A.M. *Laboratorny gamma-spektrometricheskij analiz estestvennykh radioaktivnykh elementov (metodicheskie razrabotki)* [Laboratory gamma spectrometry analysis of natural radioactive elements (methodical)]. Novosibirsk, IGiG SO AN SSSR Press, 1971. 67 p.
4. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Malikova I.N., Vosel Yu.S. Zakonomernosti raspredeleniya radionuklidov i redkozemelnykh elementov v donnykh otlozheniyakh ozer razlichnykh regionov Sibiri [Laws of distribution of radionuclides and rare earth elements in sediments of lakes in different regions of Siberia]. *Russian Geology and Geophysics*, 2010, vol. 51, pp. 1501–1514.
5. Nriagu J.O., Kemp A.L.W., Harper N. Sedimentary record of heavy metal pollution in lake Erie. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1979, no. 43, pp. 247–258.
6. Usenkov S.M., Sveshnikov A.G. Dinamicheskie tipy dna i zagryaznenie donnykh otlozheniy Ladozhskogo ozera [Dynamic types of bottom sediments and pollution of Lake Ladoga]. *Programme «Universitety Rossii». Geologiya* [Program «Russian Universities». Geology]. Moscow, MSU Press, 1995. P. 2, pp. 153–158.
7. Strakhovenko V.D., Shcherbov B.L., Malikova I.N., Malikov Yu.I. Sovremennoe raspredelenie estestvennykh radionuklidov i ^{137}Cs v donnykh otlozheniyakh ozer razlichnykh regionov Sibiri [The current distribution of natural radionuclides and ^{137}Cs in bottom sediments of lakes in different regions of Siberia]. *Radioaktivnost posle yadernykh vzryvov i avariy. Trudy Mezhdunarodnoy konferentsii* [Radioactivity after Nuclear Explosions and Accidents: Proc. of the Intern. conf.]. Ed. By Yu.A. Izrael. Moscow, 5–6 December 2005. St.-Petersburg, Gidrometeoizdat Publ., 2006. Vol. 2, pp. 310–316.
8. Rikhvanov L.P. *Obschie i regionalnye problemy radioekologii* [General and regional problems of radioecology]. Tomsk, TPU Publ. house, 1997. 384 p.
9. Ivanov A.Yu. Uran i toriy v donnykh otlozheniyakh neprotocnykh vodoemov yuga tomskoy oblasti [Uranium and tory in the sediments of stagnant waters in the south of Tomsk region]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 159–165.
10. Mezhibor A. M. *Ekogeokhimiya elementov-primesej v verkhoynykh torfakh Tomskoy oblasti. Dis. Kand. nauk* [Ecogeochemistry of trace elements in peats of Tomsk region. Cand. Diss.]. Tomsk, 2009. 153 p.
11. Ivanov V.V. *Ekologicheskaya geokhimiya elementov. Spravochnik. Kn. 6. Redkie f-elementy* [Environmental Geochemistry of elements. Reference book. B. 6. Rare f-elements]. Ed. by V.K. Burenkov. Moscow, Ekologiya Publ., 1997. 607 p.
12. Strakhovenko V.D. *Geokhimiya donnykh otlozheniy malykh kontinentalnykh ozer Sibiri. Dis. Dokt. nauk* [Geochemistry of sediment in small inland lakes in Siberia. Dr. Diss.]. Novosibirsk, 2011. 307 p.
13. Aubert D., Le Roux G., Krachler M., Cheburkin A., Kober B., Shotyk W., Stille P. Origin and fluxes of atmospheric REE entering an ombrotrophic peat bog in Black Forest (SW Germany): Evidence from snow, lichens and mosses. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 2006, no. 70, pp. 2815–2826.

14. Arbuzov S.I., Rikhvanov L.P., Maslov S.G., Arkhipov V.S., Belyaeva A.M. Anomalous gold contents in brown coals and peat in the south-eastern region of the Western-Siberian platform. *Int. J. Coal Geol.*, 2006, vol. 68, no. 3–4, pp. 127–134.
15. Eyrikh S.S., Papina T.S., Frolova N.S., Shvikovski M. Otsenka globalnogo i regionalnogo vkladu, a takzhe prirodnoy i antropogennoy sostavlyayushchikh v obshchee rtutnoe zagryaznenie atmosfery Altaya [Evaluation of global and regional input, as well as natural and man-made components into overall mercury pollution of Altai atmosphere]. *Rtut v biosfere: ekologo-geokhimicheskie aspekty. Materialy Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Mercury in the biosphere: ecological-geochemical aspects. Proce. of the International Symposium]. Moscow, 7–9 September, 2010. Moscow, GEOHI RAN Publ., 2010. pp. 162–168.
16. Kennedy E.J., Ruch R.R., Gluskoter H.J., Shimp N.F. Environmental studies of mercury and other elements in coal and lake sediments as determined by neutron activation analysis. *Nuclear instruments & methods in physics research section b-beam interactions with materials and atoms*. Columbia, 1971. pp. 205–215.
17. Titaeva N.A. *Yadernaya geokhimiya* [Nuclear geochemistry]. Moscow, MSU Press, 2000. 336 p.
18. *Sibirskiy khimicheskiy kombinat* [Siberian Chemical Combine]. Available at: <http://atomsib.ru/ru/istoriya-shk> (accessed 05 November 2015).
19. Sanei H., Goodarzi F., Outridge P.M. Spatial distribution of mercury and other trace elements in recent lake sediments from central Alberta, Canada: an assessment of the regional impact of coal-fired power plants. *Int. J. Coal Geol.*, 2010, vol. 82, no. 1, pp. 105–115.
20. Rikhvanov L.P., Arbuzov S.I., Baranovskaya N.V., Volostnov A.V., Arkhangelskaya T.A., Mezhibor A.M., Berchuk V.V., Zhornyak L.V., Zamyatina Yu.L., Ivanov A.Yu., Talovskaya A.V., Shatilova S.S., Yazikov E.G. Radioaktivnyye elementy v okruzhayushey srede [Radioactive elements in the environment]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2007, vol. 311, no. 1, p. 128–136.

Received: 28 January 2016.