

УДК 556.555:550.42:546.8(571.16)

УРАН И ТОРИЙ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ НЕПРОТОЧНЫХ ВОДОЕМОВ ЮГА ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

А.Ю. Иванов

Томский политехнический университет
E-mail: Ivanov-13@mail.ru

Обсуждена геохимия U и Th в донных отложениях непроточных водоемов юга Томской области. Исследовано 289 водоемов на территории Томского, Асиновского, Кривошеинского, Кожевниковского, Зырянского, Бакчарского и Шегарского районов. Среднее содержание урана в донных отложениях выше, чем в других регионах Сибири. Установлены закономерности изменения содержания Th и U в донных отложениях озер в зависимости от их минерального состава. Выявлено, что аномальные концентрации урана в основном имеют естественную природу накопления.

Ключевые слова:*Донные отложения, непроточные водоемы, вертикальное распределение, уран, торий.***Key words:***Bottom sediment, stagnant basin, vertical distribution, uranium, thorium.***Введение**

Континентальные озера являются неотъемлемой частью большинства ландшафтных зон Сибири (в том числе Томской области). Донные отложения замкнутых водоемов являются аккумулятивной единицей ландшафта и служат индикаторами геохимических процессов, происходящих как в самих озерах, так и на их водосборных площадях. Существует довольно много классификаций донных отложений озер, основанных на различных факторах, регулирующих озерные процессы и определяющих качественную и количественную стороны озерного накопления. Многие авторы подчеркивают, что в озере одновременно происходит накопление самых разнообразных видов осадков. Вместе с тем, как правило, можно установить, что озерам в разных ландшафтных условиях свойственны определенные типы осадконакопления [1–3]. Актуальной научной проблемой современности является изучение процессов, происходящих в результате широкого антропогенного воздействия на озера и их экосистемы.

Изучение донных отложений слабопроточных водоемов – одно из перспективных направлений современной геохимии экосистем. Исследование донных отложений позволяет изучать не только динамику изменения состава окружающей среды за длительный период времени, но и выделять временные интервалы наиболее интенсивного поступления радиоактивных элементов в среду обитания.

В непосредственной близости от г. Томска, в центре самой населенной части Томской области, расположен комплекс предприятий ядерно-тепличного цикла, известный как Сибирский химический комбинат (СХК). Данный объект функционирует 60 лет, и до недавнего прошлого вся его деятельность проходила в полном режиме секретности. В этой связи актуальным представляется вопрос о степени влияния СХК на окружающую среду и состояние здоровья населения, проживающего вблизи него [4].

Цель работы заключалась в изучении специфики химического состава донных отложений непроточных водоемов юга Томской области, выявлении геохимических ассоциаций элементов, механизмов и источников их поступления. Для этого оценивались уровни накопления химических элементов, исследовались закономерности их распределения в вертикальном профиле донных отложений и по латерали.

Характеристика объектов исследования

Исследуемые озера находятся на территории Томской области, в юго-восточной части Западно-Сибирской низменности, почти в центре России примерно на равном расстоянии от западной и восточной ее границ (рис. 1).

В Томской области насчитывается 12900 озер суммарной площадью 4451 км² [5]. 35 озер имеют площадь более 5 км². Многие из них расположены в поймах рек. Некоторые озера объявлены памятниками природы. В ряде озер имеются значительные запасы сапропелей.

В г. Томске и его ближайшем окружении функционирует ряд промышленных объектов федерального значения: СХК, Томский нефтехимический комбинат, радиотехнический, приборный, электротехнический и другие заводы [4].

Обследованные озера располагаются на юге Томской области (рис. 2). Водоминеральное питание осуществляется паводковыми и грунтовыми водами. Все озера являются пресными.

Всего исследовано 289 водоемов. Глубина изученных водоемов составляет от 1 до 5 м. Мощность изученных донных отложений составляет от 0,2 до 1,0 м.

Донные отложения анализируемых озер имеют состав от сапропелевых до чисто глинистых с различными вариациями соотношения этих составляющих.

Нередко отмечается смешанный, минерально-органогенный тип отложений с более или менее

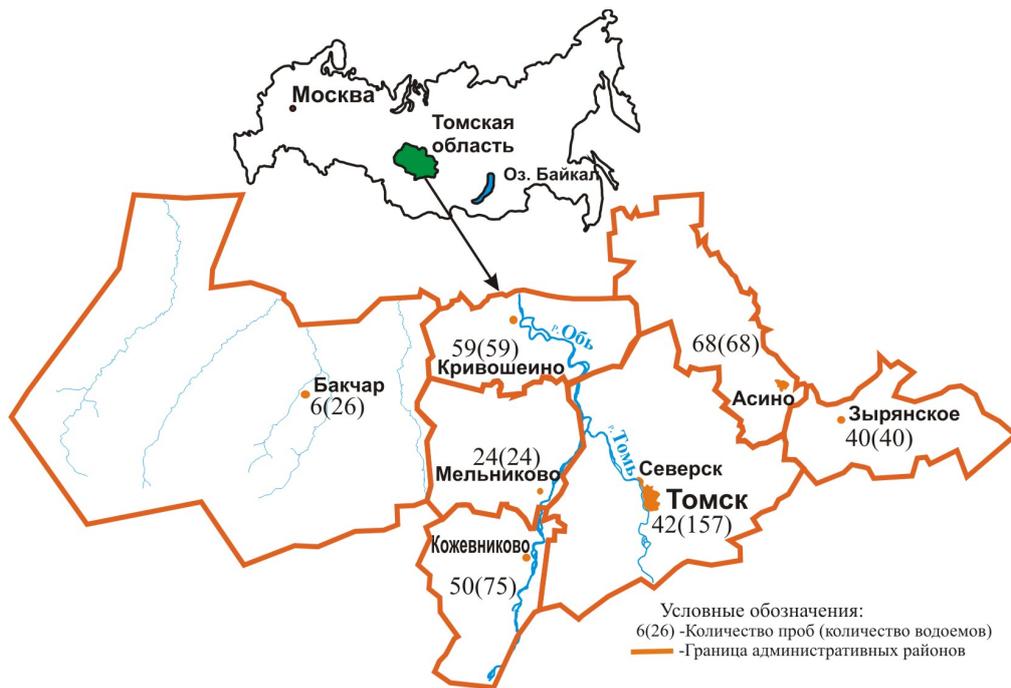


Рис. 1. Схема распределения объектов опробования по административным районам юга Томской области

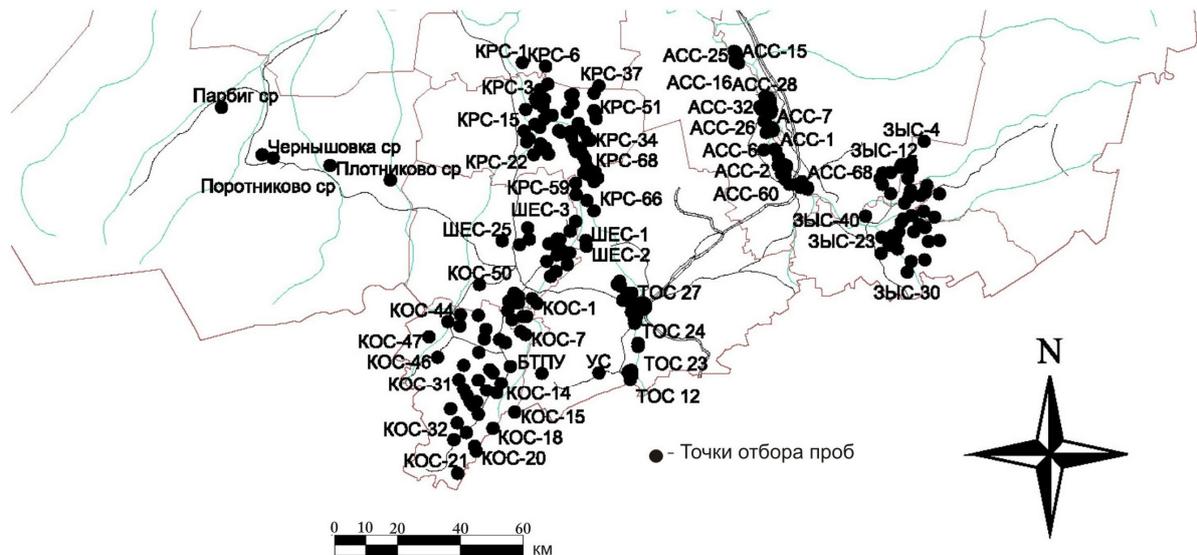


Рис. 2. Схема опробования водоемов на территории юга Томской области

отчетливо выраженной вертикальной зональностью.

Донные осадки можно разделить на три типа: сапропелево-карбонатные, карбонатно-глинистые и торфянистые. В значительном количестве озер осадок представлен смешанным составом и не может быть отнесен к определенной группе.

Методика исследований

Опробование донных отложений в 2001–2003 гг. выполнялось В.С. Архиповым и В.К. Бернатонисом, а в 2005–2009 гг. – автором статьи. Отбор проб произведен с помощью специального пробоотборника, позволяющего прово-

дить секционное опробование донных отложений. Интервал отбора изменялся от 0,015 м до 1 м в зависимости от поставленной задачи. Для отдельных водоемов выполнена детализация разреза донных отложений с интервалом опробования от 1 до 10 см. Латеральная изменчивость содержания элементов оценивалась путем отбора нескольких сечений в пределах водоема.

Для количественного определения U и Th в донных отложениях применялись современные ядерно-физические методы анализа. В качестве основного метода использовался многоэлементный инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), выполненный в ядерно-геохими-

ческой лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии Томского политехнического университета (аналитики А.Ф. Судыко и Л.В. Богутская). Для анализа использовался многоканальный амплитудный анализатор фирмы «CANBERA» со спектрометрическими блоками в системе NIM. Детектор марки GX 3548 из чистого германия с разрешением 1,8 кэВ по линии 1333 кэВ ⁶⁰Со и эффективностью 3,5 %. Облучение проводилось в вертикальном канале реактора с потоком тепловых нейтронов 2,2·10¹³ нейтрон/(см²·с) в течение 6...8 ч. Измерения выполнялись в два этапа. Первое – после 7...9 сут., второе – после времени «охлаждения» 22...25 сут. Наряду с U и Th изучено 26 элементов-примесей в сухой массе донных осадков. Достоверность полученного аналитического материала подтверждается результатами интеркалибровок метода ИНАА по многочисленным стандартным образцам сравнения (ЗУК-1 – зола угля, SD – морские осадки, БИЛ – донные отложения оз. Байкал и др.) [6], табл. 1.

Таблица 1. Определение урана и тория в стандартных образцах методом ИНАА, г/т

Стандартный образец	Уран		Торий	
	Паспортные данные	ЯГЛ ТПУ	Паспортные данные	ЯГЛ ТПУ
Зола угля ЗУК-1 ГСО 7125-94	3,3±0,4	3,2±0,71	5,8±1,0	5,6±0,23
Байкальский ил Бил-1 ГСО 7126-94	12,0±1,1	12,0±0,83	12,7±1,3	12,7±0,34
Морские отложения ИАЕА 315	3,20 (2,40...3,50)*	3,47±0,17	6,64 (6,24...6,92)	6,50±0,35
Морские отложения ИАЕА SD-M-2/ТМ	2,49 (1,44...3,5)	2,27±0,19	8,15 (7,2...9,1)	8,69±0,29
Черный сланец СГЛ-1	1,65±0,23	1,8±0,2	7,1±1,1	7,3±0,45

*Среднее значение, в скобках – минимальное и максимальное. ЯГЛ – ядерно-геохимическая лаборатория.

В процессе выполнения работы были исследованы 42 озера Томского района, 50 озер Кожевниковского, 59 озер Кривошеинского, 40 озер Зырянского района, 68 озер Асиновского, 24 озера Шегарского и 6 озер Бакчарского районов. Всего изучено 449 проб из 289 водоемов.

Результаты исследований и их обсуждение

Среднее содержание урана в донных отложениях юга Томской области составляет 3,3±0,5 г/т, тория – 7,1±0,5 г/т (табл. 2).

По уровням накопления радиоактивных элементов донные отложения водоемов Томской области близки к отложениям Байкальского региона, Алтайского края и Республики Алтай, отличаюсь несколько повышенным средним содержанием урана. По содержанию урана и тория они существенно отличаются от отложений озер Республи-

ки Тыва, Республики Саха (Якутия) и Ямало-Ненецкого автономного округа.

Таблица 2. Содержание U и Th в донных отложениях озер Томской области и сопредельных регионов, г/т

Регион (район, объект) исследования	Кол-во водоемов	Уран*	Торий	Источник информации
Томская область	289	3,3±0,5 0,5...35,2	7,1±0,5 0,45...13,7	Наши данные
Экорегion Байкал	11	3,1±0,5 0,3...19	5,5±0,5 <0,1...17,3	[7]
Республика Тыва	17	1,6±0,5 <0,1...3,5	2,9±0,5 <0,1...1,7	
Ямало-Ненецкий автономный округ	12	1,1±0,5 0,7...2,3	1,9±0,5 1,8...4,8	
Республика Саха (Якутия)	10	1,6±0,5 <0,1...9,3	4,7±0,5 1,5...8,6	
Алтайский край	82	2,7±0,5 <0,1...15,5	7,8±0,5 <0,1...18,9	
Республика Алтай	17	2,7±0,5 0,2...12,8	5,6±0,5 <0,1...14,7	
Кларк*	–	3,4	7,7	[8]

Примечания: в числителе – среднее значение; ± – ошибка определения среднего; в знаменателе – min и max значения; * – среднее содержание в осадочных породах.

Более детальное рассмотрение содержания U и Th в водоемах юга Томской области показывает, что их распределение неравномерно (табл. 3).

Таблица 3. Содержание U и Th в донных отложениях озер Томской области, г/т

Регион (район, объект) исследования	Кол-во водоемов	Уран		Торий		Th/U
		Содержание*	V, %	Содержание	V, %	
Томская область, в том числе районы:	289	3,3±0,5 0,5...35,2	95	7,1±0,5 0,45...13,7	33	2,1
Томский	42	3,7±0,5 2,5...6,6	24	6,9±0,5 5,8...8,9	11	1,9
Кожевниковский	50	5,0±0,5 0,9...35,2	112	7,5±0,5 2,2...11,5	29	1,5
Бакчарский	6	0,9±0,5 0,5...2,6	82	6,8±0,5 5,1...8,6	11	7,5
Шегарский	24	4,1±0,5 1,07...30,9	146	8,2±0,5 1,3...13,7	38	2,0
Зырянский	40	3,1±0,5 0,5...11,9	65	7,6±0,5 4,1...11,3	21	2,5
Асиновский	68	3,5±0,5 1,5...6,7	38	7,8±0,5 1,2...12,9	24	2,2
Кривошеинский	59	3,0±0,5 1,4...5,3	54	7,2±0,5 3,8...9,9	16	2,4

Примечания: V – вариация, %; в числителе – среднее значение; ± – ошибка определения среднего; в знаменателе – min и max значения.

Оценки средних содержаний урана и тория в Кривошеинском, Зырянском и Асиновском районах близки (табл. 3).

Донные отложения озер Кожевниковского, Шегарского и Томского районов отличаются более высоким содержанием урана. Его концентрации в некото-

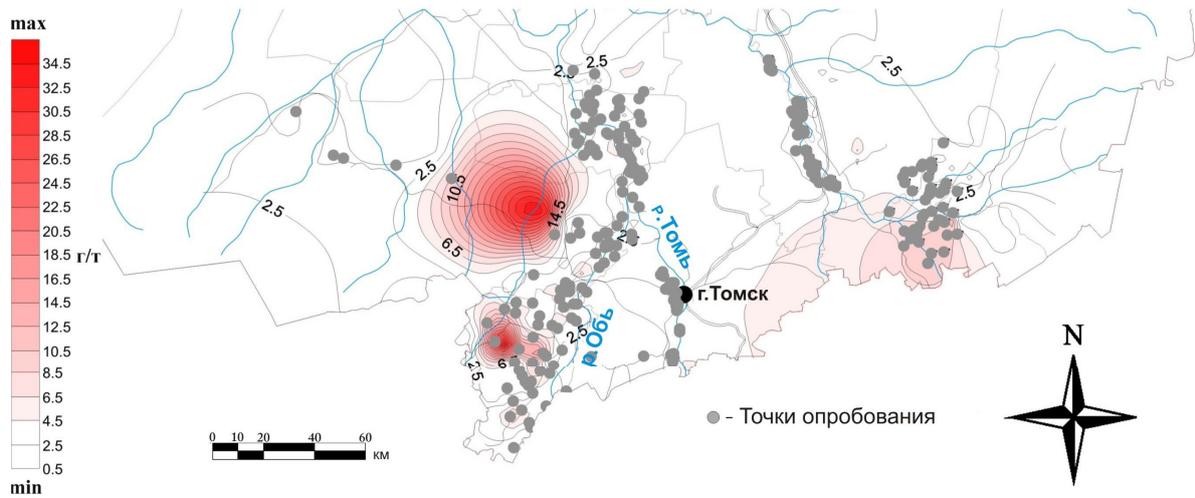
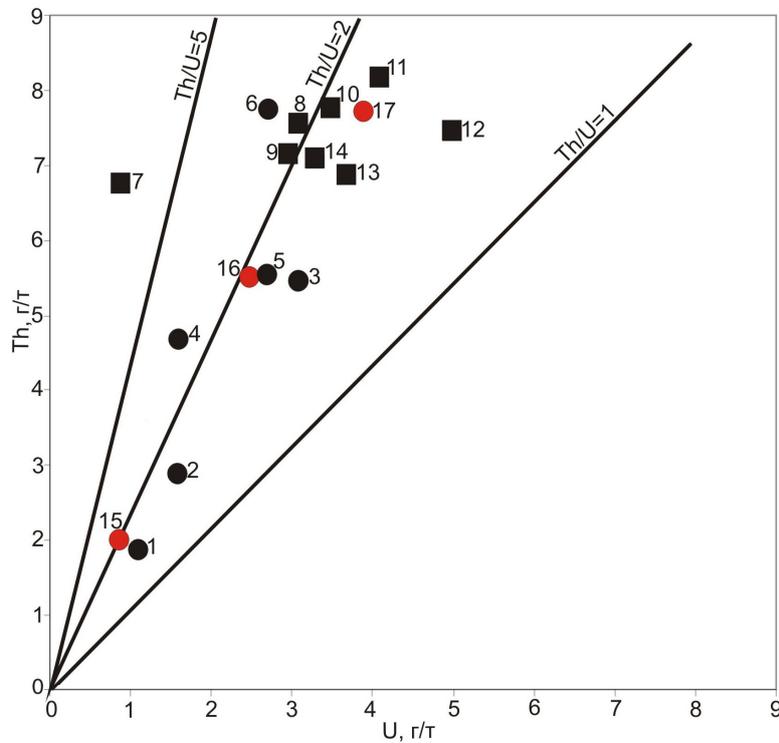


Рис. 3. Распределение U в донных отложениях водоемов юга Томской области, г/т



Условные обозначения:

- – Донные отложения водоемов Томской области
- – Донные отложения водоемов сопредельных регионов
- – Типы донных отложений

Рис. 4. Радиогеохимические характеристики донных отложений озер Томской области и сопредельных регионов. 1) Ямало-Ненецкий автономный округ; 2) Республика Тыва; 3) экорегион Байкал; 4) Республика Саха (Якутия); 5) Республика Алтай; 6) Алтайский край [7]; районы Томской области: 7) Бакчарский; 8) Зырянский; 9) Кривошеинский; 10) Асиновский; 11) Шегарский; 12) Кожевниковский; 13) Томский; 14) среднее для Томской области. Типы донных отложений: 15) торфянистые; 16) сапропелево-карбонатные; 17) карбонатно-глинистые. Примечания: 1–6 [7]; 7–17 (данные автора)

рых водоемах превышают 20 г/т при максимальном значении в отдельных пробах до 60 г/т (водоем вблизи дер. Асиновка). Содержание тория достаточно выдержано, что указывает на его накопление преимущественно в составе обломочной фракции.

Анализ пространственного накопления урана в донных отложениях юга Томской области позволяет выделить две зоны с повышенным уровнем его накопления (рис. 3). Первая представлена цепочкой ореолов субмеридионального простира-

ния, прослеживающихся от южной границы области вдоль долины р. Оби в пределах Кожевниковского и Шегарского районов. Вторая зона накопления представляет собой ореол повышенных содержаний урана вдоль границы выхода коренных отложений в пределах Кузнецко-Алатаусского блока в обрамлении Западно-Сибирской плиты.

На рис. 4 представлен график, отражающий положение донных отложений в координатах U–Th, из которого можно сделать вывод о том, что в целом преобладают донные отложения с урановой природой радиоактивности. Торий-урановое отношение в основном ≥ 2 , что указывает на преимущественное концентрирование урана по сравнению с торием. Наиболее вероятный механизм накопления U – сорбция на органическом веществе. Причина повышенного содержания U в Томском, Шегарском и Кожевниковском районах может быть обусловлена:

- сносом и концентрированием U в осадочных отложениях вдоль южного обрамления Западно-Сибирской плиты. Возможность такого механизма накопления высоких содержаний урана в донных отложениях подтверждается наличием здесь многочисленных проявлений U в торфяниках [9], бурых углях палеогенового возраста (Усманское, Яйское и др. месторождения), в окисленных бурых углях юрского возраста (Козульское и др.), наличием собственных гидротермальных месторождений U (Малиновское и др.);
- техногенным концентрированием элементов в результате деятельности предприятий ядерно-топливного цикла;

- техногенным концентрированием элементов в сельскохозяйственных районах в связи с использованием фосфатных удобрений [10]. Известно, что фосфатные удобрения в 1980–1990 гг. отличались повышенным содержанием урана. С этим фактом могут быть связаны аномальные содержания урана в донных отложениях искусственных водоемов в с. Осиновка и вблизи с. Малиновка (Кожевниковский район).

Ранее отмечалось, что содержание урана и тория в донных отложениях озер зависит от их состава [11]. Приведенные в табл. 4 данные также показывают, что содержание естественных радионуклидов в донных отложениях юга Томской области заметно отличаются в различных типах осадков при сохранении близкой величины торий-уранового отношения (2,1).

Таблица 4. Усредненные содержания урана и тория в донных отложениях озер юга Томской области, г/т

Состав отложений	U	Th	Th/ U
Сапропелево-карбонатные	2,5	5,4	2,1
Карбонатно-глинистые	3,8	7,6	2,0
Торфянистые	0,9	2,0	2,2

Карбонатно-глинистые осадки обогащены ураном и торием относительно двух других типов, а торфянистый тип отложений существенно отличается пониженным содержанием этих элементов, но обладает несколько более высоким Th/U отношением.

Для изучения динамики поступления радиоактивных веществ в донные отложения были детально изучены 3 группы водоемов:

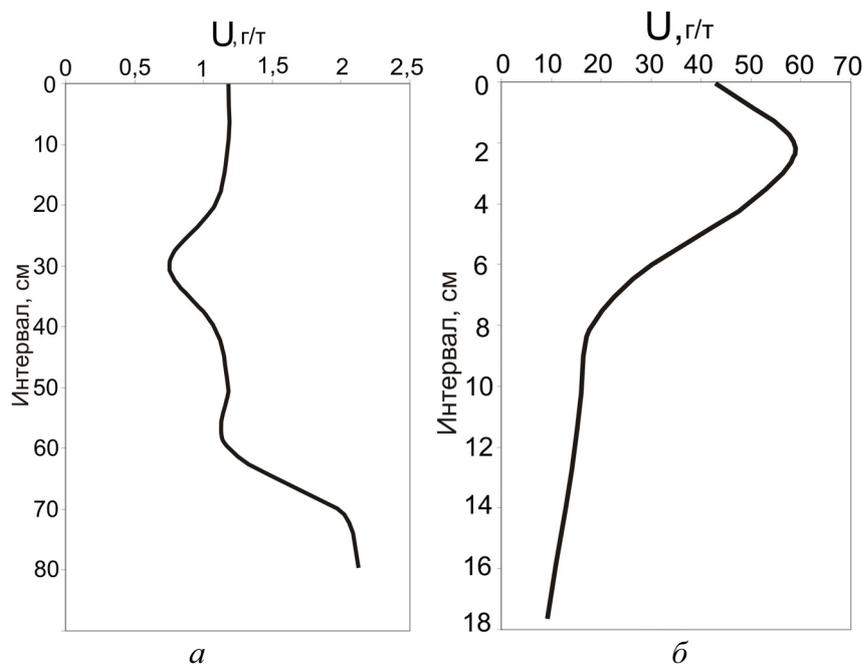


Рис. 5. Вертикальные распределения концентрации урана в разрезе донных отложений: а) озеро Ум, расположенное на границе с заказником «Томский»; б) водоем, располагающийся вблизи д. Осиновка (Кожевниковский район)

- вне зоны интенсивного антропогенного воздействия, рис. 5, а;
- в районах интенсивного агротехногенного влияния, рис. 5, б;
- находящиеся в непосредственной зоне влияния Томск-Северской промышленной агломерации, рис. 6.

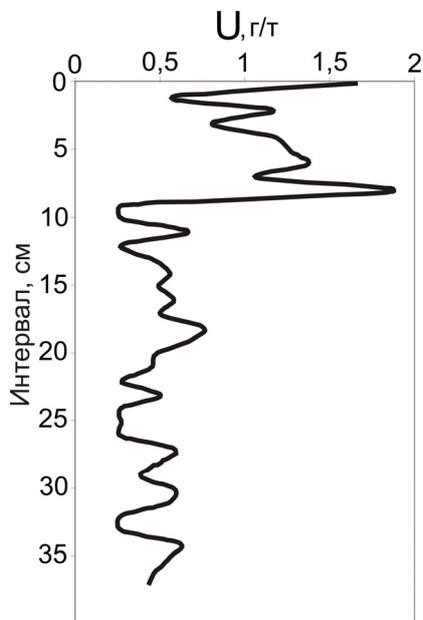


Рис. 6. Вертикальное распределение концентрации урана в разрезе донных отложений озера Черное, находящееся в зоне влияния СХК

Выбранное в качестве эталона с минимальным техногенным воздействием озеро Ум, расположенное на границе с заказником «Томский», отличается низким относительно выдержанным содержанием в разрезе донных отложений, как урана, так и тория (рис. 5, а). Характерно высокое торий-урановое отношение. Это обстоятельство указывает на преимущественно кластогенное поступление радиоактивных элементов в водоем. По уровню накопления радиоактивных элементов выбранный эталонный объект наиболее близок к озерам Республики Тыва и Республики Саха (Якутия). Как известно, в силу своего географического положения они мало затронуты процессами промышленного загрязнения. Причины низкого содержания U и Th могут быть обусловлены и особенностями геологического строения области питания озерных котловин.

В озере Черном, которое находится вблизи гг. Томска и Северска, в вертикальном профиле донных отложений в интервале 7...10 см наблюдается резкая смена геохимических ассоциаций, соответствующая периоду 1950–1960 гг., рис. 6. Смена геохимической обстановки совпадает с началом промышленной перестройкой г. Томска и строительства СХК. Так же как и U ведут себя практически все изученные нами элементы-примеси: As, Ba, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, La, Lu, Na, Rb, Sb, Sc, Sm, Ta, Tb, Th, Yb, и только Ca имеет

другую тенденцию распределения (рис. 7), что говорит о существенном изменении геохимической обстановки.

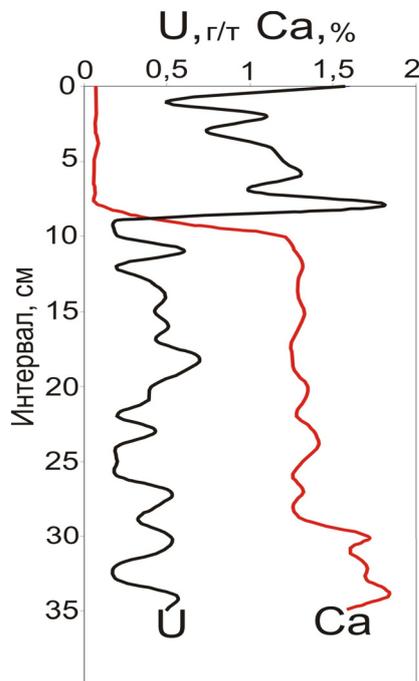


Рис. 7. Вертикальное распределение концентрации U и Ca в разрезе донных отложений озера Черное

Об антропогенной природе изменений геохимической обстановки говорит присутствие Am^{241} и Cs^{137} , накапливающихся в изученной колонке оз. Черного в этот же интервал времени (рис. 8).

Выводы

Показано, что донные отложения озерных водоемов юга Томской области отличаются повышенным по сравнению с другими регионами Сибири содержанием урана.

Выявлено, что Th/U-отношение в различных типах осадков, в зависимости от их минерального состава, практически одинаково. В то же время, карбонатно-глинистые осадки обогащены ураном и торием относительно сапропелево-карбонатных и торфянистых, а торфянистый тип отложений существенно отличается пониженным содержанием этих элементов, но обладает более высоким Th/U-отношением.

В вертикальном распределении концентрации урана, в разрезе донных отложений (оз. Черное), отчетливо просматривается смена геохимической обстановки, совпадающая с началом промышленной перестройкой г. Томска и строительства Сибирского химического комбината, соответствующая периоду 1950–1960 гг., что указывает на техногенную трансформацию природной среды в результате деятельности предприятия.

Наиболее значительные аномалии, выявленные в донных отложениях искусственных водоемов в Кожевниковском районе, имеют, вероятно, тех-

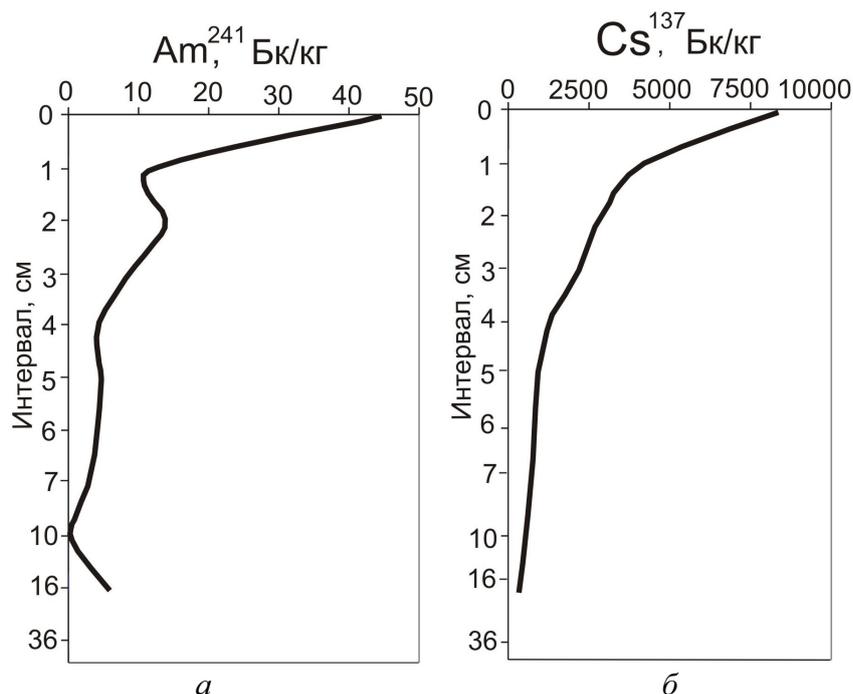


Рис. 8. Вертикальное распределение концентрации: а) Am^{241} ; б) Cs^{137} в разрезе донных отложений озера Черное

ногенную природу. Пространственное расположение озер в виде цепочки вдоль р. Оби в районах с интенсивным агротехническим воздействием по-

зволяет рассматривать сельскохозяйственную деятельность в качестве возможной причины аномального накопления урана в донных отложениях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дербаква В.Г., Сорокина И.Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. – Л.: Наука, 1979. – 195 с.
2. Общие закономерности возникновения и развития озер. Методы изучения истории озер / под ред. А.Ф. Трешникова. – Л.: Наука, 1986. – 254 с.
3. Поползин А.Г. Озера юга Обь-Иртышского бассейна (Зональная комплексная характеристика). – Новосибирск: Наука, 1967. – 339 с.
4. Официальный сайт Департамента природных ресурсов Томской области. Водные ресурсы. 2010. URL: <http://www.towiki.ru/view/> (дата обращения: 17.05.2010).
5. Рихванов Л.П. Общие и региональные проблемы радиоэкологии. – Томск: Изд-во ТПУ, 1997. – 384 с.
6. Судыко А.Ф. Определение урана и тория в природных объектах нейтронно-активационным методом // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конф. – Томск: Изд-во «Тандем–Арт», 2004. – С. 587–592.
7. Страховенко В.Д., Шербов Б.Л., Маликова И.Н., Маликов Ю.И. Современное распределение естественных радионуклидов и ^{137}Cs в донных отложениях озер различных регионов Сибири // Радиоактивность после ядерных взрывов и аварий: Труды Междунар. конф. под ред. акад. Ю.А. Израэля. – г. Москва, 5–6 декабря 2005. – Т. 2. – СПб.: Гидрометеоздат, 2006. – С. 310–316.
8. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной коры // Геохимия. – 2003. – № 7. – С. 785–792.
9. Росляков Н.А., Калинин Ю.А., Рослякова Н.В. и др. Экзогенное концентрирование радионуклидов в торфяниках и корях выветривания Новосибирской области // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Матер. II Междунар. конф. – Томск: Изд-во «Тандем–Арт», 2004. – С. 522–526.
10. Способ разбровки минеральных удобрений: а.с. 1821703 СССР. Заявл. 11.11.1990; опубл. 12.10.1992. – 1 с.
11. Страховенко В.Д., Шербов 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. – Семипалатинский государственный педагогический институт, 19–21 октября 2006 г. – Т. II. – Семипалатинск, 2006. – С. 263–269.

Поступила 20.10.2010 г.