

## ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЛИСТОГО ОСАДКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА<sup>1</sup>

© 2009 г. В. А. Бобров, Г. А. Леонова, Ю. И. Маликов

*Институт геологии и минералогии Сибирского отделения Российской академии наук  
630090 Новосибирск, просп. акад. Коптюга, 3*

Поступила в редакцию 06.06.2008 г.

Ранее полученные данные по концентрациям тяжелых металлов в донных осадках Новосибирского водохранилища дополнены новыми результатами по геохимической характеристике илистого тонкодисперсного осадка приплотинной части водоема в расширенном списке химических элементов (до 55). После зарегулирования р. Оби плотиной ГЭС в новообразованном водохранилище начал формироваться в геохимическом отношении новый тип осадков с более высокими концентрациями химических элементов (включая тяжелые металлы), уровень которых достигает значений, характерных для байкальского ила из центральной котловины озера.

Зарегулирование р. Оби плотиной Новосибирской ГЭС (1957–1959 гг.) создало условия для интенсивного осаднения в нижней озеровидной части водохранилища транспортируемой из верховьев реки минеральной взвеси. Эффект осаднения взвеси в Новосибирском водохранилище установлен Б.А. Воротниковым с соавторами [7] на основе изучения ее весовых концентраций на “входе” в водоем и “выходе” из него. В верхней части водохранилища концентрация взвеси на литр воды на порядок выше, чем в нижнем бьефе: 90–50 и 6–10 мг/л соответственно. В нижней части водохранилища оседает около 60–90% транспортируемой рекой взвеси. В результате этого к 2000 г. накопилось до 40–50 см ила на отдельных участках ложа водохранилища, где создались благоприятные условия сохранности ила (нет их размыва и переотложения).

Анализ литературных источников [9–12, 14, 22, 24, 25, 30, 34] показывает, что геохимические исследования донных отложений (ДО) Новосибирского водохранилища, в том числе илистых, проводились эпизодически и зачастую с целью оценки экологического состояния водоема. В качестве основного аналитического метода в вышеуказанных работах использовалась атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) как традиционный метод эколого-геохимических исследований. Наиболее детально с геохимической точки зрения (с учетом гранулометрии) ДО изучены в [27, 28]. Однако исследование геохимической специфики илистого осадка Новосибирского водохранилища в расширенном списке химических элементов (до 55) с применением инструментальных ядерно-физических методов до настоящего времени не проводилось. Восполнить этот пробел – главная задача данного исследования.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Новосибирское водохранилище относится к длинному типу. В верхней и средней части оно имеет речной вид с шириной 3–5 км, в нижней приплотинной части представляет собой озеровидный плес с максимальной шириной 17 км. Основные морфометрические показатели следующие: протяженность – 180 км, площадь водного зеркала при нормальном подпорном уровне (НПУ) – 1070 км<sup>2</sup>, объем – 8.8 км<sup>3</sup>, полезный объем – 4.4 км<sup>3</sup>, максимальная глубина – 25 м (у плотины). Малая полезная емкость водохранилища обуславливает его высокую проточность, когда основная часть поступающей воды проходит транзитом. При среднем расходе воды ~1660 м<sup>3</sup>/с имеет место семикратное годовое обновление полного объема воды [30].

Отбор проб взаимосвязанных компонентов экосистемы водохранилища (вода – взвесь – ДО – биота) проводили на основных створах мониторинговых наблюдений (рис. 1) в ходе комплексных экспедиций Объединенного института геологии, геофизики и минералогии СО РАН, Института водных и экологических проблем СО РАН и Федерального государственного учреждения “ВерхнеОбьРегионВодХоз”.

Пробы воды отбирали в июле 2005 г. на 14 станциях с помощью батометра Молчанова с глубины 0.6 *h* (где *h* – глубина на створе). Фильтрацию проводили через мембранные ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм на приборе Куприна с целью разделения взвешенных и растворенных форм металлов. Фильтраты консервировали добавлением концентрированной азотной кислоты марки “ос. ч.” из расчета 4 мл кислоты на 1 л раствора. Фильтры со взвешенным веществом запаковывали в полиэтиленовые пакеты и хранили в холодильнике. Для отдельных элементов (Pb, Cd, Ni, Co и другие), фоно-

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты 04-05-65168, 08-05-00392).



**Рис. 1.** Опорные мониторинговые станции отбора проб на гидрогеохимические анализы в Новосибирском водохранилище. 1 – границы районов водохранилища: верхняя, средняя, нижняя части акватории; 2 – станции отбора проб на гидрогеохимические анализы.

вые содержания которых в природных водах, как правило, находятся на уровне или ниже инструментальных пределов обнаружения, применялось предварительное концентрирование водных фильтратов выпариванием. При этом коэффициент концентрирования не превышал 30, так как при более высокой степени концентрирования усиливается влияние матричных элементов, снижающих метрологические характеристики химического анализа.

ДО отбирали в период 1998–2001 гг. с борта экспедиционного судна цилиндрическим пробоотборником с лепестковым затвором. Длины извлеченного кернового материала варьировали в пределах 20–140 см. Керны ДО делили на фрагменты по 5 см. В каждой пробе определялась естественная влажность. Выбор образцов ДО для выполнения аналитических работ по расширенной программе на 55 элементов определялся просмотром фактических аналитических данных полной коллекции образцов. В настоящей работе исследована выборочная партия образцов ДО (восемь станций – 7, 11, 18, 30, 32, 35–37), расположенных в верхнем (речном), среднем и нижнем (озеровидном) участках водохранилища. В окончательном варианте выбора материала илистых ДО предпочтение отдано двум наиболее глубоким станциям (18 и 37), расположенным в нижнем приплотинном участке водохранилища.

Пробы зоопланктона отобраны в июле 1998 г. на четырех станциях (17, 23а, 26, 37). Сетной лов проводили в слое воды 0–10 м стандартной планктонной сетью Джеди (диаметр входного отверстия 37 см, фильтрующий конус из мельничного газа с диаметром ячеек 73 мкм). Вес отбираемой пробы зоопланктона, необходимой для аналитических определений на широкий круг элементов, составлял в среднем 30–50 г сырой биомассы.

Содержание основных ионов  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$  (гидрохимический анализ) в по-

верхностных водах Новосибирского водохранилища проводили комплексом общепринятых методов [19–21] в лаборатории контроля качества природных и сточных вод (аналитики Т.М. Булычева, Г.Н. Криволапова, Г.Д. Вересова, “ВерхнеОбьРегионВодХоз”).

Методом ААС определяли валовые концентрации тяжелых металлов (ТМ) Hg, Pb, Cd, Cu, Zn, Ni, Cr, Co, Fe и As в твердом веществе и в водных пробах по общепринятым методикам [4, 23]. Для определения Zn, Fe, Mn применяли метод пламенной атомизации, в котором используется низкотемпературная плазма. Замеры проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре SP-9 с дейтериевой коррекцией фона фирмы Rue-Unikat в пламенном варианте воздух-ацетилен. Для определения As, Cd, Cu, Pb использовали атомно-абсорбционный спектрофотометр фирмы Perkin-Elmer с электротермической атомизацией и зеемановской коррекцией фона HGA-600 (Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитики Н.В. Андросова, В.Н. Ильина). При определении Hg применяли методику “холодного пара” с амальгамацией на золотом сорбенте (Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитик Ж.О. Бадмаева).

Метод атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ИСП АЭС) использовали для определения в воде концентраций Al, Mn, Fe, Sr, Ba. Замеры проводили на приборе ICP-OES spectrometer IRIS Advantage американской фирмы Thermo Jarrell, в аналитической программе которого предусмотрено измерение и учет фона, введение поправки на систематическую погрешность, обусловленную спектральными наложениями (Институт геологии и минералогии СО РАН, аналитик Л.Б. Трофимова).

Наиболее полный спектр химических элементов 47 из общего списка 55, включая  $^{210}Pb$ ,  $^{226}Ra$ ,  $^{137}Cs$ ) получен для планктона методами ИСП АЭС и масс-

**Таблица 1.** Общий химический состав, мг/л, вод Новосибирского водохранилища в июле 2005 г.

Станция	pH	<i>Eh</i> , мВ	O <sub>2</sub>	M*	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
1	8.3	355	7.2	113	24	5.8	109.8	11.9	4.8	≤0.02	0.12
2	8.3	370	7.2	113	20.8	8.8	103.7	11.7	3.9	0.01	0.14
4	8.2	370	7.2	113	20.8	8.8	103.7	11.9	4.3	0.02	0.14
7	8.1	340	7.9	114	20.8	8.8	103.7	12.8	3.7	≤0.02	0.17
8	8.2	350	7.7	112	20.8	8.8	109.8	10.0	2.9	0.03	0.13
9	8.3	360	7.2	111	22.4	7.8	109.8	10.4	5.3	0.04	0.14
11	8.2	380	6.8	119	22.4	5.4	103.7	13.0	4.8	0.02	0.57
12	8.2	370	7.0	114	16	10.6	103.7	12.4	4.6	≤0.02	0.19
13	8.1	360	8.8	110	16	9.2	103.7	10.5	3.7	≤0.02	0.12
36	8.1	360	7.2	104	19.2	8.8	103.7	12.5	4.2	0.01	0.13
16	8.0	380	6.6	105	21.6	6.4	97.6	12.5	3.8	0.02	0.14
18	8.1	370	6.8	100	21.6	3.8	97.6	12.0	3.3	0.08	0.08
20	8.1	370	7.2	103	18.4	6.8	97.6	8.0	3.5	0.03	0.12
26	8.3	360	7.9	126	27.2	7.8	115.9	13.1	4.3	0.06	0.27

\* – минерализация.

спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ИСПМС). Методом ИСПМС на масс-спектрометре высокого разрешения ELEMENT германской фирмы Finnigan определены лантоноиды (кислотное разложение проб проведено И.В. Николаевой, замеры на приборе – С.В. Палесским).

Наряду с ААС, ИСП АЭС и ИСПМС применяли комплекс инструментальных физических методов – нейтронно-активационный (ИНАА) и рентгенофлуоресцентный на базе синхротронного излучения ускорителя ВЭПП-3 ИЯФ СО РАН (РФА СИ), подробные характеристики которых приведены в [31]. Основным достоинством РФА СИ метода является возможность анализа микроэлементного состава биологических образцов без их предварительного озоления, т.е. в нативном неизменном состоянии.

<sup>210</sup>Pb, <sup>226</sup>Ra, <sup>137</sup>Cs в разрезе колонки станции 37 определены на колодезном детекторе из сверхчистого германия (HPGe) с низкофоновым криостатом EGPC 192-P21/SHF 00-30A-CLF-FA (производство французской фирмы “EURYSIS MESURES”, Франция).

### ОБЩИЙ ХИМИЧЕСКИЙ И МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ВОД НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Воды Новосибирского водохранилища по классификации О.А. Алекина [2] относятся к гидрокарбонатному классу, группе кальция, типу I. Минерализация воды в момент отбора проб была достаточно низкая, не превышающая 119 мг/л в водохранилище и 126 мг/л в Бердском зал., pH слабо щелочной (8.0–8.3). По всем створам на-

блюдались очень низкие значения общей жесткости (1.4–2.0 мг/экв), почти всегда отсутствовал NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, значения NO<sub>3</sub><sup>-</sup> не превышали 0.8, а NH<sub>4</sub><sup>+</sup> – 0.57 мг/л. В целом, содержание основных ионов относительно стабильно, резких колебаний в пределах акватории не наблюдалось (табл. 1).

Концентрации микроэлементов в поверхностной воде Новосибирского водохранилища варьировали в следующих пределах (табл. 2): Fe – 37–920; Al – 100–620; Mn – 12–120; Sr – 100–160; Ba – 23–52; Zn – 2.3–14; Cu – 3.5–6.0; Ni – 0.79–1.1; Pb – 0.2–0.4; Hg – 0.02–0.057 и Cd – 0.018–0.31 мкг/л.

Пространственное распределение микроэлементов в воде водохранилища хорошо иллюстрирует рис. 2. Так, по направлению к нижней приплотинной части водоема содержания Fe, Al и Mn заметно снижаются. Концентрации Sr, Ba, Cu, Pb и Ni несколько уменьшаются от верхнего участка водохранилища к среднему, а затем опять возрастают к нижнему. Распределение Zn и Hg по длине Новосибирского водохранилища неравномерно. В отличие от остальных элементов концентрации Cd вниз по течению увеличиваются. В целом же, концентрации большинства элементов не превышают предельно допустимых концентраций (ПДК) для хозяйственных и питьевых вод, за исключением Fe и Mn в верхней части водохранилища.

Миграция Fe, Al, Mn и Ni осуществляется преимущественно во взвеси, по направлению к нижней части водоема немного повышается доля растворенной формы этих элементов, о чем свидетельствуют отношения концентрации данных элемен-

**Таблица 2.** Содержание микроэлементов, мкг/л, в нефильТРованных водах (н/ф), фильтрах (ф) и взвесьях Новосибирского водохранилища в июле 2005 г. (здесь и в табл. 3–6 прочерк – отсутствие данных)

Станция	Al	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Sr	Cd	Ba	Hg	Pb
1(н/ф)	680	120	920	1.1	4.0	9	128	0.018	34	<0.02	0.2
1(ф)	н/о	12	<3	<1	<3	<3	125	<0.05	23	<0.02	<0.1
Взвесь	771	61.5	1073	3.3	7.9	19.3	2.3	0.013	6.8	0.011	1.2
2(н/ф)	680	120	880	1.1	4.0	14	127	0.018	38	0.045	0.2
2(ф)	–	4	35	<1	<31	11	115	<0.05	23	<0.02	<0.1
Взвесь	636	60	879	2.5	5.2	11.4	2.6	0.016	6.9	0.012	1.52
4(н/ф)	500	93	690	1.1	3.9	10	114	0.018	33	0.034	0.2
4(ф)	–	<3	<3	<1	<31	9	113	<0.05	19	<0.02	<0.1
Взвесь	1295	103	1860	3.9	4.9	14.7	5.7	0.025	12.7	0.024	1.7
8(н/ф)	360	67	450	1.1	3.9	2.3	113	0.018	26	<0.02	0.4
8(ф)	–	3	33	<1	<3	4	121	<0.05	20	<0.02	<0.1
Взвесь	620	58	861	2.3	4.0	14.9	2.4	0.012	6.2	0.014	1.7
31(н/ф)	280	52	320	0.8	3.5	10	114	0.025	27	0.045	0.2
31(ф)	–	0.3	33	<1	<3	12	19	<0.05	19	<0.02	<0.1
Взвесь	554	50	746	2.1	2.3	8.3	2.1	0.012	5.7	0.008	0.81
32(н/ф)	240	61	310	0.8	3.5	12	121	0.025	23	<0.02	0.2
32(ф)	–	5	<3	<1	<3	9	130	<0.05	21	<0.02	<0.1
Взвесь	527	60	737	2.6	4.9	13.6	2.9	0.014	5.7	0.007	0.86
11(н/ф)	210	41	312	0.8	3.5	7	125	0.025	26	<0.02	0.2
11(ф)	–	9	<3	<1	<3	12	121	<0.05	26	<0.02	<0.1
Взвесь	325	31	443	2.5	5.8	11.7	1.1	0.020	3.3	0.010	0.86
13(н/ф)	100	40	312	0.8	3.5	4	115	0.025	52	0.029	0.2
13(ф)	–	4	<3	<1	<3	11	115	<0.05	31	<0.02	<0.1
Взвесь	299	32	393	1.8	6.8	13.2	1.1	0.013	3.3	0.006	0.74
35(н/ф)	230	21	130	0.9	6.0	7	110	0.031	25	0.02	0.27
35(ф)	–	2	<3	<1	<3	11	106	<0.05	23	<0.02	<0.1
Взвесь	308	35	388	3.9	4.0	13.3	0.95	0.017	3.5	0.007	0.67
16(н/ф)	180	21	130	0.9	6.0	14	110	0.031	24	0.02	0.27
16(ф)	–	3.2	38	<1	<3	23	113	<0.05	26	<0.02	<0.1
Взвесь	142	18.3	185	1.6	1.7	6.9	0.54	0.022	1.9	0.010	0.53
18(н/ф)	200	37	223	0.9	3.9	14	112	0.031	28	<0.02	0.27
18(ф)	–	2	36	<1	<3	12	109	<0.05	20	<0.02	<0.1
Взвесь	200	32	276	2.2	2.4	117	0.70	0.04	2.7	0.023	0.64
20(н/ф)	100	12	37	0.9	3.9	8	109	0.031	23	0.057	0.27
20(ф)	–	2	<3	<1	<3	13	106	<0.05	26	<0.02	<0.1
Взвесь	59	8.5	77	1.6	3.9	12.6	0.23	0.118	1.	0.004	0.63
26(н/ф)	200	27	73	0.9	3.9	3	161	0.031	30	0.032	0.27
26(ф)	–	8	<3	<1	<3	<3	162	<0.05	25	<0.02	<0.1
Взвесь	64	21	89	2.2	0.49	9.8	0.41	0.011	1.48	0.006	0.58

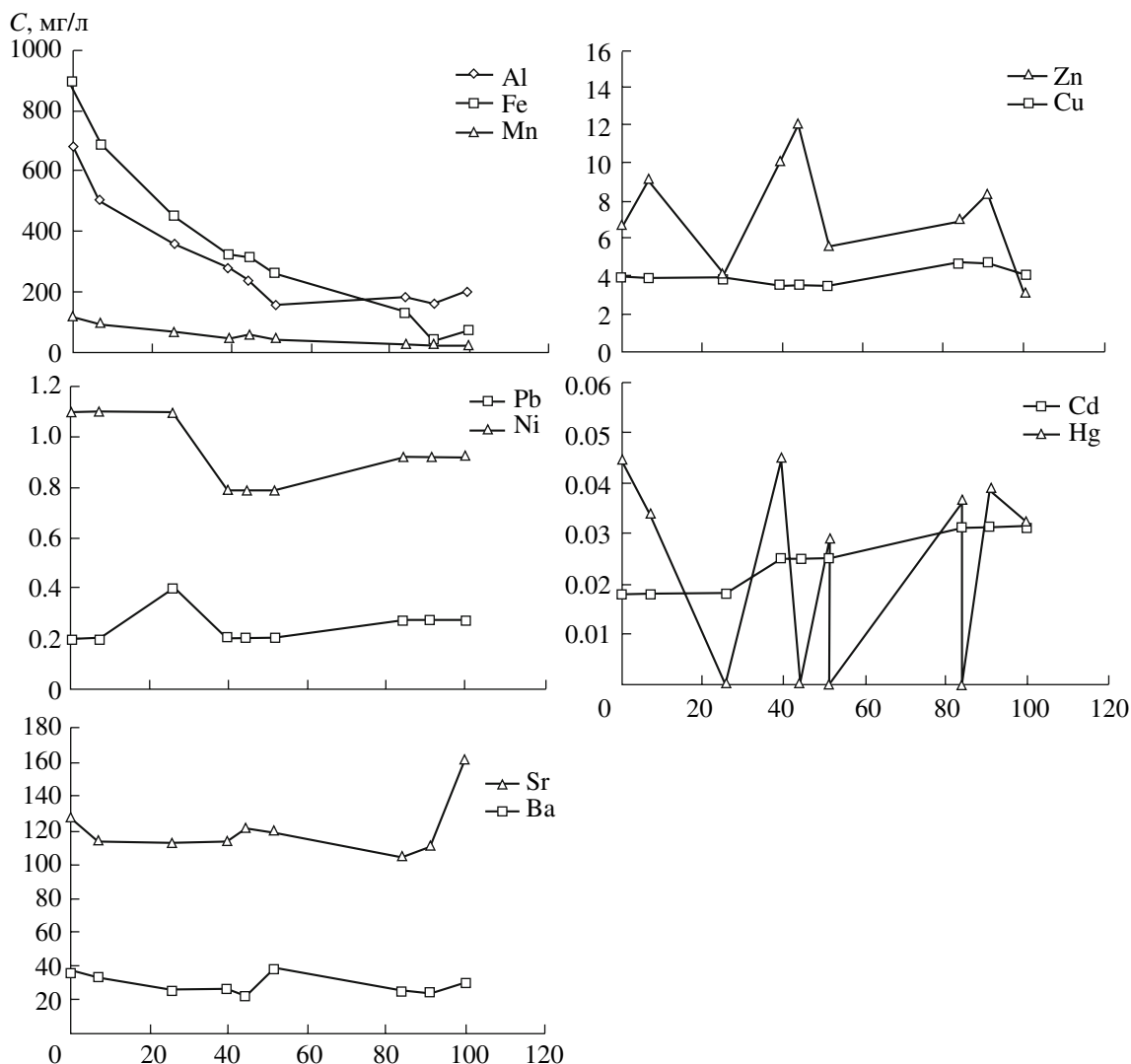


Рис. 2. Пространственное распределение ТМ в поверхностных водах Новосибирского водохранилища. Цифры на кривых – номера станций отбора проб.

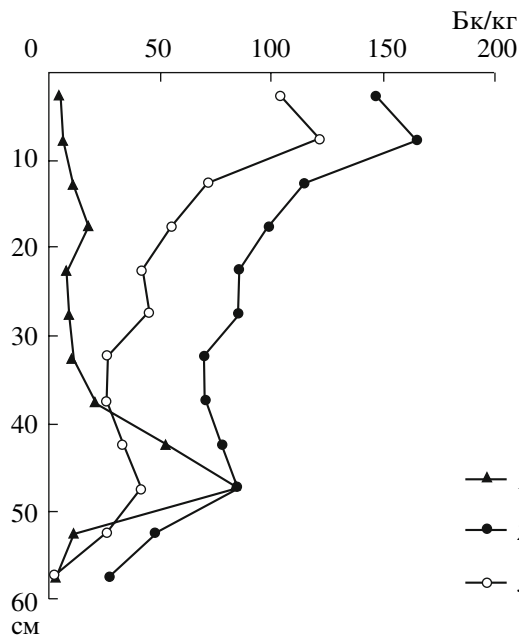
тов в растворенной форме к таковой во взвесьях ( $C_p/C_b$ ). В растворенном состоянии мигрируют Sr и Ba, при этом более высокие отношения ( $C_p/C_b$ ) зафиксированы в приплотинном озеровидном плесе. Cu в верхней части водохранилища превалирует во взвеси, а в нижней части – в растворе. Zn, Cd, Pb и Hg мигрируют как во взвешенном, так и в растворенном состоянии.

Относительное повышение содержания растворенных металлов в воде нижней приплотинной части водохранилища может быть связано с поступлением их с бытовыми и промышленными стоками городов Бердск и Искитим, что согласуется с данными [27, 28]. Снижение доли взвешенных форм металлов в воде нижней части водоема можно объяснить осаждением взвеси, что, несомненно, свидетельствует о своеобразной барьерной роли водохранилищ вообще [1] и Новосибирского в частности [7, 27, 28],

которая заключается в осаждении терригенной взвеси, поставляемой речным стоком.

#### МИКРОЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ИЛИСТОГО ОСАДКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Момент заполнения Новосибирского водохранилища (1957–1959 гг.) сопровождался радиоактивным заражением поверхности водосборного бассейна р. Оби (включая Горный Алтай и Новосибирскую обл.) радиоактивным цезием ( $^{137}\text{Cs}$ ) от ядерных испытаний на Семипалатинском ядерном полигоне (1949–1962 гг.) [26, 29]. Наличие в ДО Новосибирского водохранилища  $^{137}\text{Cs}$  дает возможность выделить горизонты ила, сформировавшиеся в новообразованном водоеме с момента зарегулирования Оби, и надежно отделить их от осадков ло-



**Рис. 3.** Распределение радионуклидов  $^{137}\text{Cs}$  и  $^{210}\text{Pb}$  по глубине ДО в интервале 2–50 см (ст. 37). 1 –  $^{137}\text{Cs}$ ; 2 –  $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ , 3 –  $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$  (неравновесный, атмосферный). Атмосферная доля радиоактивного свинца ( $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$ ), Бк/кг, вычислена как разница активности суммарного ( $^{210}\text{Pb}_{\text{общ}}$ ) и активности  $^{226}\text{Ra}$ , содержащегося в глинистом осадке.

жа реки. Относительно долгоживущий  $^{137}\text{Cs}$  уверенно фиксируется в отложившемся илистом осадке, достигающем к настоящему времени мощности 50 см в нижней приплотинной части водохранилища (ст. 37, рис. 3).

Максимальное значение  $^{137}\text{Cs}$ , равное 82 Бк/кг, фиксируется в слое 45–50 см, формирование которого началось за 43 года до времени отбора колонки осадка на ст. 37. Ниже горизонта 55 см отмечается незначительное количество  $^{137}\text{Cs}$  (не более 3 Бк/кг), а также отсутствует неравновесный  $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$ , или та часть  $^{210}\text{Pb}$ , которая поступает из атмосферы и исчезает в осадке с периодом полураспада  $T = 22.6$  г. В целом распределение  $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$  по слоям типично для озерных осадков. Начальное максимальное значение радиоактивного Pb смещается на уровень горизонтов в интервале 5–10 см. До 30-см горизонта наблюдается спад активности по закону, близкому к экспоненциальному, ниже спада не наблюдается. Более того, фиксируется некоторое повышение вплоть до горизонтов в интервале 40–50 см. Объяснить это можно тем, что в периоды испытания на Семипалатинском полигоне резко возросла запыленность атмосферы, а следовательно – интенсивность “вымывания” глобального  $^{210}\text{Pb}$  из верхних слоев атмосферы. Отсутствие  $^{210}\text{Pb}_{\text{атм}}$  может свиде-

тельствовать о значительно меньшей скорости осадения взвеси с тонкодисперсной фракцией.

В табл. 3 представлены данные по содержанию ТМ, а также Al, K, Th и U(Ra) в слоях колонок станций, в которых был обнаружен  $^{137}\text{Cs}$  при принятом способе отбора колонок (станции 11, 18, 35–37). В верхней части водоема (станции 7, 30 и 32) в колонках осадков  $^{137}\text{Cs}$  не обнаружен. Глубина этих станций составляет ~6 м и при “срабатывании” уровня воды до 5 м плотинной ГЭС происходит размыв верхнего слоя осадков, что и объясняет отсутствие в колонках осадков  $^{137}\text{Cs}$ . В то же время на более глубоких станциях 18, 35, и особенно 37 положение пика  $^{137}\text{Cs}$  достигает 40–55 см от поверхности современного ложа водоема. ДО водохранилища в его нижней части (станции 18, 35–37) достаточно однородны по плотности (1.27–1.22 г/см<sup>3</sup>), концентрациям K (2.10–2.22 %), U (2.5–3.1 г/т) и Th (9.5–13.1 г/т), в меньшей степени – концентрациям ТМ. Нижние слои колонок этих станций существенно отличаются по концентрациям всего списка элементов (табл. 3) и плотности. Эти различия более контрастны, чем приведенные в [27, 28].

Нейтронно-активационным анализом исследован верхний, промежуточный и нижний слои колонок станций 18 и 37 (табл. 4). Как видно, достаточно хорошо согласуются значения концентраций для всей группы определяемых с помощью ИНАА породообразующих и рассеянных химических элементов. Средние значения концентраций этих элементов в пределах выделенных слоев согласуются между собой на обеих станциях. Для нижних слоев этих станций наблюдаются различия в концентрациях породообразующих (Na, Ca) и рассеянных (Hf) элементов. Более однородный состав верхних горизонтов, представляющих собой вновь образующийся илистый осадок, подтверждается гранулометрическим анализом, который показал, что 80–90% вещества сосредоточено в двух фракциях: 20–1 мкм и <1 мкм, преимущественно во второй фракции (до 50% вещества). Для нижних горизонтов на мелкую фракцию приходится ≤5% массы вещества, а на крупную фракцию размерностью 63–20 мкм – до 50–60% массы вещества. Вся группа химических элементов, представленных в табл. 3, в более высоких концентрациях присуща новообразованным осадкам по сравнению с осадками речного ложа (нижние горизонты станций 18 и 37). В [7, 27, 28] рассматривалась оседающая на дно водохранилища алеврито-глинистая смесь в качестве концентратора ТМ. Эффективное отложение глинистого ила систематически очищало воду от “загрязнений” промышленных предприятий.

Обращает на себя внимание достаточно выдержанная по значениям плотность осадка на всю толщину верхнего слоя колонки ст. 37, среднее значение  $1.22 \pm 0.022$ . Эти значения плотности хорошо согласуются с установленной плотностью для стан-

**Таблица 3.** Распределение химических элементов по слоям осадков (по данным атомно-абсорбционной и сцинтилляционной гамма-спектрометрии) (здесь и в табл. 4,  $n$  – количество образцов;  $H$  – глубина водоема на станции;  $P$  – плотность осадка; числитель – среднее содержание элемента; знаменатель – стандартное отклонение)

Станция	Слой осадка, см	$n$ , шт.	$H$ , м	Пик $^{137}\text{Cs}$ , см	$P$ , г/см <sup>3</sup>	Fe	Al	K	Cu	Pb	Ni	Co	Zn	Cr	Mn	V	Th	U(Ra)	
						%			г/т										
30	0–30	6	6	н/о	–	2.84	–	1.4	29	8	33	12	42	70	553	84	6.9	2.4	
						0.29	–	0.17	4	2	4	1	8	7	56	12	1.2	0.7	
7	0–50	6	6	н/о	–	2.96	–	1.41	26	8	29	11	46	65	557	78	6.8	2.1	
						0.12	–	0.10	5	2	3	2	13	8	58	4	1.1	0.3	
32	0–65	13	5	н/о	–	3.75	–	1.51	24	11	36	14	58	89	815	112	7.6	2.1	
						0.20	–	0.06	3	1	11	1	7	9	70	14	0.7	0.2	
11a	0–75	15	6	55	–	1.51	4.42	5.43	2.10	37	19	56	18	100	97	796	120	9.7	3.1
						0.07	0.37	0.81	0.36	4	3	3	2	13	8	176	26	1.2	0.9
11б	90–105	4	н/о	н/о	–	1.05	1.59	2.11	0.52	17	6	24	8	28	42	324	35	3.1	2.0
						0.04	0.28	0.45	0.04	2	1	4	2	4	11	70	8	0.06	1.0
35Aa	0–40	7	11	50	–	1.28	4.71	–	2.14	32	18	62	18	119	72	900	156	11.2	2.9
						0.03	0.56	–	0.34	3	3	4	1	12	5	130	11	1.3	0.6
35Ab	50–75	5	н/о	н/о	–	1.09	1.25	–	0.42	18	11	16	6	50	31	467	40	3.6	1.6
						0.02	0.42	–	0.14	10	8	3	1	19	7	129	11	1.0	1.0
36a	0–20	4	11	20	–	1.27	4.86	–	2.22	44	22	58	18	64	83	855	146	9.5	3.0
						0.04	0.26	–	0.22	4	2	4	1	41	12	145	43	1.5	0.5
36б	30–65	4	н/о	н/о	–	2.00	2.07	–	1.48	22	9	23	9	24	54	331	49	4.0	1.7
						0.12	0.15	–	0.13	11	1	6	1	2	8	52	5	0.5	0.6
37a	0–50	10	19	50	–	1.22	4.85	5.96	–	43	20	57	18	111	101	1132	137	13.1	2.5
						0.01	0.22	0.67	–	1	2	3	2	13	6	174	8	0.6	0.5

ций 18, 35A и 36. По этому параметру и по содержанию ТМ мы можем принять разрез колонки ст. 37 достаточно представительным для геохимической характеристики илистого осадка во всем Новосибирском водохранилище.

Дополнительно выполнен РФА СИ анализ для образцов ст. 37, чтобы пополнить недостающие сведения по ряду редких элементов (табл. 5).

Результаты, полученные методами ИНАА и РФА СИ, дополнены данными ААС, а также данными с полным спектром лантаноидов в пробе зоопланктона ст. 37 (табл. 6) с использованием метода ИСП МС.

#### ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ ИЛИСТОГО ОСАДКА И ЗООПЛАНКТОНА НИЖНЕГО УЧАСТКА НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

Как уже упоминалось выше, основной поставщик минерального вещества в водохранилище – речной сток. В верхних проточных участках основная часть химических элементов переносится в со-

ставе “грубой” речной взвеси. Во взвешенном состоянии находятся от 90 до 98% всех элементов–гидролизатов, в том числе редкоземельные элементы, находящиеся либо в сорбированной на глинистых минералах форме, либо в кристаллических решетках обломочных образований – кварцевых песков [8]. На верхних участках главную роль в осаждении грубодисперсной речной взвеси играет абиотический – гидродинамический фактор, в результате чего взвесь под действием гравитационных сил осажается. До нижнего приплотинного участка “добегает” только тонкодисперсная взвесь, которая не оседает на дно и транзитом выходит из водохранилища через нижний его створ. Часть этой “тонкой” взвеси в нижней озеровидной части водохранилища включается в перераспределение посредством биотического фактора – зоопланктона, биомасса которого, как правило, достигает на нижних участках водохранилищ значительных величин. Таким образом, наряду с процессами механического осаждения “грубой” минеральной взвеси происходит поглощение “тонкой” мелкодисперсной взвеси организмами–фильтраторами зоопланктона и дальнейшее оседание “проглоченной” минеральной взвеси на

**Таблица 4.** Элементный состав ДО нижнего участка (ст. 18 и 37) Новосибирского водохранилища (по данным нейтронно-активационного анализа)

Слой, см	n, шт.	Na, %	Ca, %	г/т																	
				Sc	Cr	Fe	Co	Zn	As	Br	Rb	Sr	Mo	Sb	Cs	Ba	Hf	Ta	W	Th	U
Станция 37																					
0–50	10	$\frac{0.79}{0.09}$	$\frac{1.47}{0.31}$	$\frac{18.0}{1.2}$	$\frac{124}{15}$	$\frac{5.3}{0.31}$	$\frac{21.8}{1.4}$	$\frac{188}{28}$	$\frac{13.9}{3.7}$	$\frac{4.6}{2.2}$	$\frac{118}{12}$	$\frac{208}{72}$	$\frac{1.2}{0.7}$	$\frac{1.9}{0.2}$	$\frac{7.2}{0.4}$	$\frac{424}{106}$	$\frac{4.7}{0.4}$	$\frac{1.0}{0.3}$	$\frac{4.8}{0.8}$	$\frac{10.9}{1.1}$	$\frac{3.2}{1.0}$
50–55	1	1.29	1.53	13.2	108	3.85	15.2	137	24	5	81	248	0.9	1.7	4.6	280	7.5	1.0	5.7	7.6	3.0
55–70	3	$\frac{1.54}{0.02}$	$\frac{1.8}{0.07}$	$\frac{11.4}{0.1}$	$\frac{117}{13}$	$\frac{3.32}{0.01}$	$\frac{12.6}{1.3}$	$\frac{88}{22}$	$\frac{4}{2}$	$\frac{0.6}{0.2}$	$\frac{60}{6}$	$\frac{231}{37}$	$\frac{0.5}{0.2}$	$\frac{1.5}{0.1}$	$\frac{3.0}{0.2}$	$\frac{275}{114}$	$\frac{8.6}{1.5}$	$\frac{0.7}{0.15}$	$\frac{8.0}{1.5}$	$\frac{7.2}{0.7}$	$\frac{1.6}{1.03}$
Станция 18																					
15–40	5	$\frac{0.65}{0.06}$	$\frac{1.11}{0.02}$	$\frac{19.5}{0.3}$	$\frac{134}{14}$	$\frac{5.51}{0.08}$	$\frac{19.9}{1.9}$	$\frac{204}{16}$	$\frac{15.6}{3.9}$	$\frac{6.3}{1.7}$	$\frac{118}{11}$	–	$\frac{0.6}{0.6}$	$\frac{2.7}{1.1}$	$\frac{8.4}{1.0}$	$\frac{340}{79}$	$\frac{3.8}{0.5}$	$\frac{0.95}{0.29}$	$\frac{3.8}{1.4}$	$\frac{12.3}{0.2}$	$\frac{3.3}{0.8}$
40–50	1	0.61	0.90	17.6	114	5.01	17.6	177	11.3	6.2	114	132	0.3	2.0	7.8	319	3.6	1.06	5.3	9.7	2.6
55–65	2	$\frac{0.69}{0.01}$	$\frac{0.70}{0.07}$	$\frac{12.2}{2.7}$	$\frac{99}{16}$	$\frac{3.24}{0.52}$	$\frac{9.5}{2.8}$	$\frac{122}{34}$	$\frac{9.7}{1.3}$	$\frac{4.4}{2.1}$	$\frac{78}{30}$	$\frac{123}{41}$	$\frac{0.96}{0.2}$	$\frac{1.6}{0.4}$	$\frac{3.5}{0.5}$	$\frac{255}{37}$	$\frac{3.4}{0.3}$	$\frac{0.90}{0.07}$	$\frac{3.9}{0.5}$	$\frac{6.2}{1.4}$	$\frac{2.4}{0.1}$

**Таблица 5.** Элементный состав ДО нижнего участка (ст. 37) Новосибирского водохранилища (по данным рентгенофлуоресцентного анализа)

Слой, см	n, шт.	%										г/т									
		K,	Ti,	Mn,	Ni	Cu	Zn	Ga	Y	Zr	Nb	Mo	Sn	Sb	J	Ba	Pb	Ta	W	Th	U
0–50	10	$\frac{2.05}{0.05}$	$\frac{0.408}{0.025}$	$\frac{0.114}{0.018}$	$\frac{58}{3}$	$\frac{47}{10}$	$\frac{105}{15}$	$\frac{14.4}{1.3}$	$\frac{30}{1.1}$	$\frac{171}{9}$	$\frac{15.5}{8}$	$\frac{1.2}{0.6}$	$\frac{6.3}{1.3}$	$\frac{2.4}{0.4}$	$\frac{7.8}{0.8}$	$\frac{520}{25}$	$\frac{27}{20}$	$\frac{1.0}{0.3}$	$\frac{4.8}{0.8}$	$\frac{10.9}{1.1}$	$\frac{3.2}{1.0}$
50–55	1	1.63	0.40	0.106	54	42	78	12	35.6	210	15.3	2.2	3.9	2.9	4.6	380	5	–	–	–	–
55–70	3	$\frac{1.47}{0.02}$	$\frac{0.36}{0.02}$	$\frac{0.060}{0.006}$	$\frac{49}{10}$	$\frac{22}{4}$	$\frac{55}{11}$	$\frac{12}{3}$	$\frac{34.9}{4.7}$	$\frac{348}{28}$	$\frac{14.5}{1.2}$	$\frac{4.5}{2}$	$\frac{4.6}{2.0}$	$\frac{1.7}{0.1}$	$\frac{2.3}{0.5}$	$\frac{340}{27}$	$\frac{13}{4}$	$\frac{0.8}{0.2}$	$\frac{7.5}{1.9}$	$\frac{7.3}{0.8}$	$\frac{2.0}{0.7}$

дно водоема в составе отмирающего планктона или продуктов его жизнедеятельности (фекальные пеллеты), что показано в работах океанологов для устьевых участков рек [17, 18].

Несомненный интерес представляет хотя бы приблизительная оценка “планктонного канала” вывода минеральной компоненты в ДО нижнего участка Новосибирского водохранилища. По данным Н.И. Ермолаевой [9] именно в нижней части Новосибирского водохранилища отмечается наиболее высокая биомасса зоопланктона (1815–2812 мг/м<sup>3</sup>), поэтому априори можно было ожидать значительной доли вклада зоопланктона в поставку минеральной (терригенной) компоненты на дно. В отличие от

малых бессточных озер, в которых поставка минеральных веществ из атмосферы в составе пыли довольно значима, в водохранилищах основным поставщиком терригенного вещества служит речной сток. Например, в Новосибирском водохранилище в его нижней озеровидной части за последние 40 лет (время существования водохранилища) накопилось до 40 см тонкодисперсного минерального ила, скорость накопления которого, по расчетам авторов, составляет ~1.2 г/(см<sup>2</sup> год). Вклад органогенной компоненты (планктонного детрита) в илистый осадок Новосибирского водохранилища, по мнению авторов, должен быть значительно меньше в сравнении с таковым в сапропели исследованных ими озер – Белое (Новосибирская обл.) [5, 6], Кирек



**Таблица 6.** Элементарный состав ДО и зоопланктона ст. 37 Новосибирского водохранилища (по результатам анализов ИНАА, РФА СИ, ИСП МС, ИСП АЭС, ААС; Zn, K, Ca, Ti, V, Ga, As, Y, Zr, Nb, Mo – определены РФА СИ методом; Na, Fe, Sc, Cr, Co, Se, Br, Rb, Sr, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Th – методом ИНАА; Ca, Mg, Ba, Sr, Na, K, Li, Si, B, Al, P, Fe, Mn, Ti, Cr, Zn, Cu, Sb – ИСП ФЭС; La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu – ИСП МС; Cd, Pb – методом ААС; Hg – ААС холодного пара; анализировались воздушно-сухие пробы)

Химический элемент	ДО		Зоопланктон	Байкальский ил (БИЛ-1 [32])	Глина (Shale [33])
	слой 55–70 см	слой 0–50 см			
Na, %	1.54	0.79	0.5	1.47	0.96
Mg, %	–	1.45	0.28	1.2	1.5
Al, %	4.7	6.14	0.62	7.18	8.0
P, %	–	0.1	1.58	–	0.07
K, %	1.47	2.05	0.59	1.86	2.66
Ca, %	1.8	1.47	6.96	1.34	1.6
Sc	11.4	18	1.45	13.5	13
Ti, %	0.36	0.408	0.0535	0.42	0.46
V, г/т	–	130	10	110	130
Cr, г/т	117	124	4	66	90
Mn, %	0.060	0.114	0.0277	0.31	0.085
Fe, %	3.32	5.3	0.44	4.92	4.72
Co, г/т	12.6	21.8	2.83	18	19
Ni, г/т	49	58	12	53	68
Cu, г/т	22	47	142	52	45
Zn, г/т	55	105	521	96	95
Ga, г/т	12	14.4	–	15	19
As, г/т	4	13.9	6	18	13
Br, г/т	0.6	4.6	41	11	20
Rb, г/т	62	118	14.4	93	140
Sr, г/т	230	208	219	266	300
Y, г/т	35	30	2.26	30	26
Zr, г/т	350	171	14	156	160
Nb, г/т	14.5	15.5	0.95	12	11
Mo, г/т	4.5	1.2	1.1	2.9	2.6
Cd, г/т	–	0.057	0.32	–	0.3
Sn, г/т	4.6	6	1.3	3.2	6
Sb, г/т	1.7	2.4	2.04	0.95	1.5
I, г/т	2.3	7.8	1.4	20	19
Cs, г/т	4.2	7.2	0.75	5.8	5
Ba, г/т	340	424	121	715	580
La, г/т	–	32	3.54	45	32
Ce, г/т	–	70	6.7	80	70
Pr, г/т	–	–	0.83	7.5	7.9
Nd, г/т	–	30	2.87	39	31
Sm, г/т	–	6.5	0.55	7	5.7
Eu, г/т	–	1.6	0.15	1.4	1.2
Gd, г/т	–	–	0.57	5.8	5.2
Tb, г/т	–	–	–	0.9	0.85
Dy, г/т	–	–	0.46	4.6	4
Ho, г/т	–	–	0.092	1.0	1.04
Er, г/т	–	–	0.27	2.9	3.4
Tm, г/т	–	–	0.042	0.41	0.5
Yb, г/т	–	3.3	0.25	2.9	3.1
Lu, г/т	–	0.46	0.042	0.4	0.48
Hf, г/т	3.4	5.2	–	3.9	4.6
Ta, г/т	0.9	1.0	–	0.85	0.8
W, г/т	7.5	4.8	–	4.3	1.8
Hg, г/т	–	0.075	0.027	0.03	–
Pb, г/т	13	15.6	13	21	20
Th, г/т	7.3	10.5	0.94	12.6	12
U, г/т	2	2.5	0.32	12	3.7

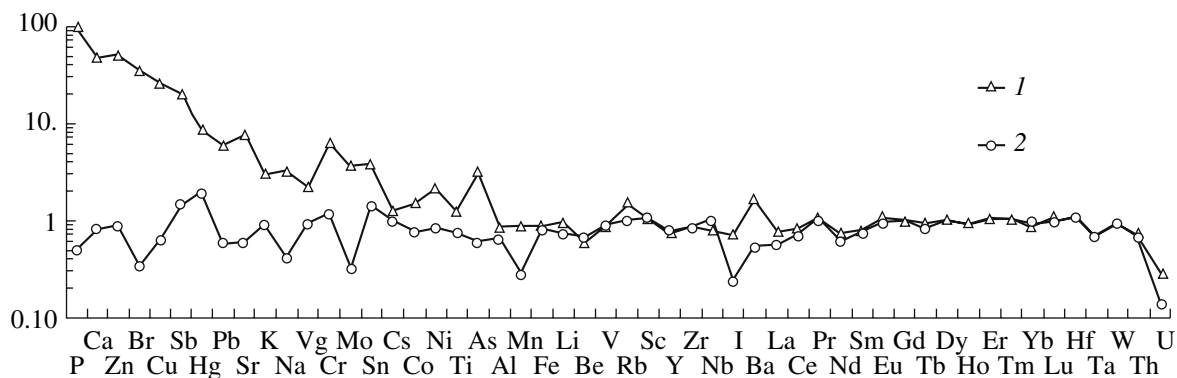


Рис. 4. Ранжирование химических элементов по значениям  $EF$  в зоопланктоне относительно скандия. 1 – зоопланктон, 2 – ДО (колонка 5–50 см).

(Томская обл.) [6, 15, 16], Очки (Бурятия) [6]. Вклад органической компоненты в озерные сапропели, по данным авторов, составляет 2–6 мг/(см<sup>2</sup> год). Даже если принять, что в Новосибирском водохранилище может образовываться 2–6 мг/(см<sup>2</sup> год) органического осадка и поступает 1.2 г/(см<sup>2</sup> год) терригенного, то и тогда доля, например, Zn и Cu, поступивших в осадок в составе отмирающего планктона (детрита), составит не более 0.3–1% установленной авторами концентрации этих элементов в планктоне (табл. 6) – 521 и 142 мг/(кг сух. массы) соответственно, в то время как различие в концентрациях Zn и Cu в верхних и нижних слоях осадка составляет соответственно для Zn 105–55 и для Cu 47–22 мг/(кг сух. массы). При скоростях накопления терригенного ила на ст. 37 Новосибирского водохранилища, оцениваемой в 1 см/год (1.2 г/(см<sup>2</sup> год)), вклад микроэлементов в составе планктона в формирование геохимической характеристики осадка незначителен.

Геохимическая специфика илистого осадка и зоопланктона, например их обогащенность микроэлементами, выявляется лучше, если провести нормирование их химического состава по Sc, как наиболее инертному химическому элементу в экзогенных процессах. Такое нормирование оказалось эффективным для оценки геохимической характеристики морского планктона и осадков Белого моря [13], где в качестве образца сравнения использованы глинистые сланцы (shale) по примеру [3]. Для илистого осадка и планктона Новосибирского водохранилища в качестве образца сравнения использован байкальский ил (стандартный образец БИЛ-1 [32]), который маркирован <sup>137</sup>Cs, что свидетельствует о его молодом возрасте (вторая половина XX в.). Коэффициенты обогащения  $EF$  рассчитаны как для верхних и нижних слоев осадков колонки ст. 37, так и для зоопланктона этой же станции согласно выражению

$$EF = (C_{x_i}/C_{x_{Sc}})_{\text{образец}} / (C_{x_i}/C_{x_{Sc}})_{\text{БИЛ-1}},$$

где  $C_{x_i}$  образец – содержание химического элемента в объекте исследования;  $C_{x_{Sc}}$  образец – содержание скандия в объекте исследования;  $C_{x_i}$  БИЛ-1 – содержание химического элемента в БИЛ-1;  $C_{x_{Sc}}$  БИЛ-1 – содержание скандия в БИЛ-1.

На графике “нормирования” (рис. 4) химические элементы распределены в соответствии со значениями их  $EF$  в зоопланктоне и илистом осадке ст. 37. Наиболее высокие значения коэффициентов ( $EF \approx 100$ ) в планктоне отмечены для P, Ca, Zn, несколько ниже ( $EF \approx 50$ ) для Br, Cu, Cd. В меньшей степени ( $EF \approx 10$ ) планктон обогащен Pb, Mo, Sr, Sb, As, Hg. Величины  $EF$  для остальных элементов (редкоземельные, редкие и Fe) близки к 1, что свидетельствует об их более прочной связи с минеральной взвесью, механически захваченной (“проглоченной”) планктоном при фильтрации воды. Отметим хорошую сходимость значений  $EF$  между собой и близость их к 1 для “малоподвижных” элементов, включая лантаноиды и торий в планктоне, осадках обоих слоев и байкальском иле (БИЛ-1).

Таким образом, живое вещество имеет свои специфические особенности элементного состава в сравнении с косным веществом (например, ДО), что выражается в обогащении живых организмов Cd, Zn, Cu, в меньшей степени Pb. Эти элементы, согласно [14], присутствуют в поверхностных водах Новосибирского водохранилища в растворенных – следовательно, наиболее биодоступных формах. Следует подчеркнуть, что в целом значения  $EF$  планктона Новосибирского водохранилища невысокие – 10–100, что обычно характерно для фоновых водоемов. Сравнительный анализ значений  $EF$  на различных станциях нижней части Новосибирского водохранилища (рис. 5) позволяет выявить отдельные локальные участки, загрязненные ТМ, например, район влияния ТЭЦ г. Бердска (ст. 26), где отмечаются на порядок более высокие по сравнению с условно-фоновыми станциями (17 и 26)

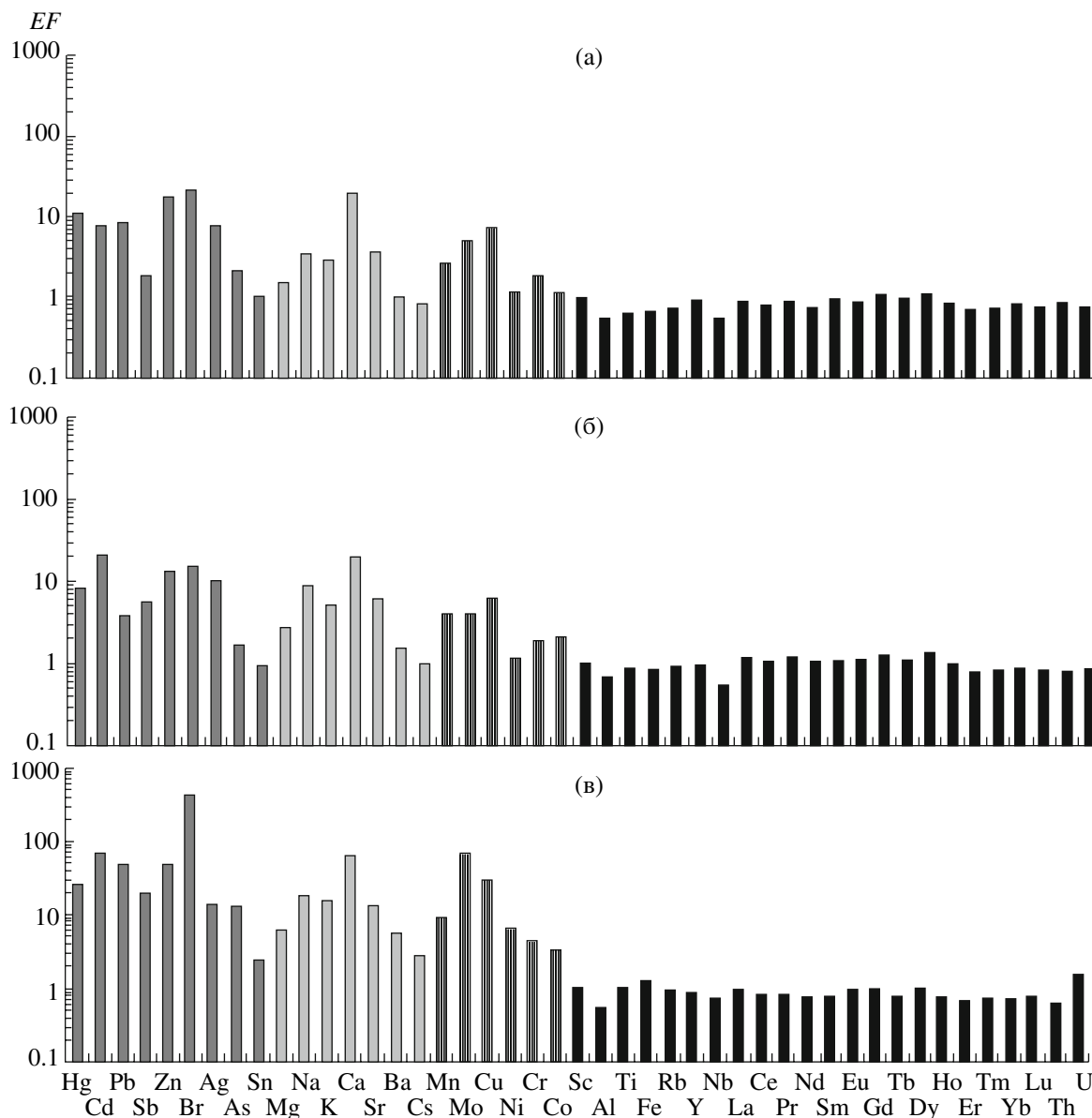


Рис. 5. Сравнительный анализ  $EF$  зоопланктона Новосибирского водохранилища на условно-фоновых станциях 17 (а) и 23а (б) и на загрязненном участке – ст. 26 (в).

значения  $EF$  для Cd, Pb, Cu, Mn и почти на 2 порядка для Br.

### ВЫВОДЫ

Образование Новосибирского водохранилища привело к изменению динамического режима обмена обской воды, что способствовало эффективному осаждению терригенного материала со скоростью, достигающей 1 см минерального вещества в год.

Начал формироваться в геохимическом отношении новый для речного ложа тип осадков с более высокими удельными концентрациями следовых элементов (включая ТМ), уровень которых достигает

значений, характерных для байкальского ила. Возрастание концентраций ТМ следует принимать как проявление геохимической особенности тонкодисперсной взвеси, которая до “зарегулирования” р. Оби транзитом проходила вниз по течению, а осаждавшаяся на дно – разубоживалась песчано-алевритовой взвесью, содержащей заметно более низкие концентрации ТМ.

На фоне массы осаждающегося тонкодисперсного материала выявить техногенный вклад в баланс илистого вещества затруднительно, несмотря на то, что планктон насыщается ТМ, фиксируя локальное их превышение по сравнению с относительно чи-

стыми (фоновыми) участками акватории (верхний и средний).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авакян А.Б., Кочарян А.Г., Майрановский Ф.Г. Влияние водохранилищ на трансформацию химического стока рек // Вод. ресурсы. 1994. Т. 21. № 2. С. 144–153.
2. Алевин О.А. Общая гидрохимия. Л.: Гидрометеоздат, 1948. 207 с.
3. Аникиев В.В., Дударев О.В., Касаткина А.П., Колесов Г.М. Влияние терригенных и биогенных факторов на формирование седиментационных потоков химических элементов в прибрежной зоне Японского моря // Геохимия. 1996. № 1. С. 59–72.
4. Безлуцкая И.В., Новоселов М.М., Зелюкова Ю.В. Непламенное атомно-абсорбционное определение ртути в природных водах // Химия и технология воды. 1989. Т. 11. № 11. С. 988–989.
5. Бобров В.А., Леонова Г.А., Кривоногов С.К., Маликов Ю.И. Геохимическая характеристика современного состояния оз. Белое (Кольванский район Новосибирской области) // Шестое сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу. Матер. докл. / Под ред. Кабанова М.В. Томск, 2005. С. 317–321.
6. Бобров В.А., Леонова Г.А., Страховенко В.Д., Краснобаев В.А. Геохимическая роль живого вещества (планктон, макрофиты) в образовании органогенных отложений некоторых озер Сибири // Экология биосистем: проблемы изучения, индикации и прогнозирования. Матер. докл. междунар. науч.-практ. конф. Астрахань, 2007. Ч.1. С. 17–24.
7. Воротников Б.А., Кусковский В.С., Аношин Г.Н. Особенности химического состава природных вод Новосибирского водохранилища // Обской вестн. 1999. № 3–4. С. 48–61.
8. Гордеев В.В. Речной сток в океан и черты его геохимии. М.: Наука, 1983. 160 с.
9. Ермолаева Н.И., Двуреченская С.Я., Аношин Г.Н. Исследование распределения тяжелых металлов в экосистеме Новосибирского водохранилища // Геохимия. 2000. № 5. С. 569–576.
10. Ланбина Т.Б., Подлипский Ю.И. Характеристика и баланс некоторых микроэлементов в воде и взвешенных веществах Новосибирского водохранилища // Комплексные исследования Новосибирского водохранилища. Тр. Западно-Сибирского регионального НИИ. М.: Гидрометеоздат, 1983. Вып. 70. С. 42–53.
11. Леонова Г.А., Бадмаева Ж.О., Ильина В.Н., Андросова Н.В. Биогеохимическая индикация антропогенной химической трансформации водных экосистем бассейна р. Обь // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. Томск: РАСКО, 2002. С. 136–156.
12. Леонова Г.А., Кузнецова А.И., Чумакова Н.Л., Андросова Н.В. Биогеохимический подход к оценке современного состояния некоторых водохранилищ Сибири (Иркутское, Братское, Новосибирское) // Актуальные проблемы рационального использования биологических ресурсов водохранилищ. Рыбинск: Рыбинский дом печати, 2005. С. 178–189.
13. Леонова Г.А., Бобров В.А., Шевченко В.П., Прудковский А.А. Сравнительный анализ микроэлементного состава сестона и донных осадков Белого моря // Докл. РАН. 2006. Т. 406. № 4. С. 516–520.
14. Леонова Г.А., Бозуш А.А., Бобров В.А. и др. Химические формы тяжелых металлов в воде Новосибирского водохранилища: оценка их биодоступности и потенциальной экологической опасности для планктона // Химия в интересах устойчивого развития. 2006. Т. 14. № 5. С. 453–465.
15. Леонова Г.А., Бобров В.А., Палесский С.В. и др. Использование элементного состава планктона и сапропелей для оценки потоков вещества из атмосферы (на примере оз. Кирек Томской области) // Контроль и реабилитация окружающей среды. Матер. симпози. / Под ред. Кабанова М.В., Тихомирова А.А. Томск, 2006. С. 98–100.
16. Леонова Г.А., Бобров В.А., Лазарева Е.В., Кривоногов С.К. Планктонный вклад микроэлементов в органическое вещество сапропеля озера Кирек (Западная Сибирь) // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Матер. всерос. науч. конф. Апатиты, Ин-т проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, 2008. Ч. 1. С. 229–234.
17. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океана // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
18. Лисицын А.П. Потоки осадочного вещества, природные фильтры и осадочные системы “живого океана” // Геология и геофизика. 2004. Т. 45. № 1. С. 15–48.
19. Методика выполнения измерений массовой концентрации сульфатов в водах турбидиметрическим методом // РД 52.24.405–95. Ростов-на Дону, 1995. 10 с.
20. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в природных и очищенных сточных водах титриметрическим методом с солью серебра // РД 33–5.3.04–96. М.: РОСКОМВОД, 1996. 15 с.
21. Методика выполнения измерений массовой концентрации гидрокарбонатов в природных водах титриметрическим методом с солью серебра // РД 33–5.3.07–96. М.: РОСКОМВОД, 1996. 15 с.
22. Савкин В.М., Двуреченская С.Я., Квон В.И., Попов П.А. Мониторинг качества воды Новосибирского водохранилища // Окружающая среда и экологическая обстановка в Новосибирском научном центре СО РАН. Новосибирск, 1995. С. 141–148.
23. Симонова В.И. Атомно-абсорбционные методы определения элементов в породах и минералах. Новосибирск: Наука, 1986. 212 с.
24. Состояние окружающей природной среды в Новосибирской области в 1993 году. Новосибирск, 1994. С. 19–35.
25. Состояние окружающей природной среды в Новосибирской области в 1994 году. Новосибирск, 1995. С. 23–38.
26. Цибульчик В.М., Аношин Г.Н., Маликов Ю.И. и др. Техногенные радионуклиды в донных отложениях Обского бассейна // Экологический риск. Матер. Второй всерос. конф. Иркутск: Ин-т географии СО РАН, 2001. С. 19–198.
27. Цибульчик В.М., Аношин Г.Н., Маликов Ю.И. Тяжелые металлы в донных осадках Новосибирского во-

- дохранилища // Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде. Матер. II междунар. науч.-практ. конф. Семипалатинск, 2002. Т. 2. С. 493–499.
28. Цибульчик В.М., Аношин Г.Н., Маликова И.Н., Маликов Ю.И. Тяжелые металлы и  $^{137}\text{Cs}$  в донных осадках Новосибирского водохранилища // Современные проблемы исследований водохранилищ. Матер. всерос. науч.-практ. конф. Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 2005. С. 109–113.
29. Цибульчик В.М., Маликов Ю.И., Аношин Г.Н., Степин А.С. Cs-137 в донных осадках и затопленных почвах Новосибирского водохранилища // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Матер. междунар. науч.-практ. конф. Семипалатинск, 2002. С. 268–273.
30. Чайкина М.В. Гидрохимический режим Новосибирского водохранилища. Новосибирск: Наука, 1975. С. 106–112.
31. Bobrov V.A., Phedorin M.A., Leonova G.A., Kolmogorov Yu. P. SR XRF element analysis of sea plankton // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. 2005. V. 543. P. 259–265.
32. Govindaraju K. Compilation of working values and description for 383 geostandards // Geostandards Newsletter. 1994. V. 18. P. 1–158.
33. Li Yuan-hui. Distribution patterns of the elements in the ocean: A synthesis // Geochim. Cosmochem. Acta. 1991. V. 55. P. 3223–3240.
34. Polukhina N.I., Dvurecheenskaya S.Ya., Sokolovskaya I.P. et al. Some toxic microelements in Novosibirsk reservoir's ecosystem // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Sec. A. 1998. V. 405. P. 423–427.