

ОЦЕНКА уровня загрязнения ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ Верхней Волги ТЯЖЁЛЫМИ металлами в 1983–2000 гг.

В данной работе определены уровни загрязнения тяжёлыми металлами донных отложений различных участков Верхней Волги на протяжении от фоновое озера Пено до входного створа в Иваньковское водохранилище. В зависимости от уровня загрязнений донных отложений может быть определена техногенная нагрузка на водную систему, которая непосредственно влияет на качество воды, которая в свою очередь используется для водоснабжения Москвы и находящихся на Верхней Волге населённых пунктов.

Введение

Площадь водосборной территории Иваньковского водохранилища составляет 41 тыс. кв. км. На этой территории расположены областные и районные центры, посёлки городского типа: Тверь, Ржев, Торжок, Zubцов, Старица и т.д. Развиты такие отрасли промышленности как деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная, домостроительная, энергетическая, пищевая, торфодобывающая. С 1986 г. в регионе наблюдается устойчивое снижение промышленного и сельскохозяйственного производства и соответствующее уменьшение сбросов сточных вод в Волгу и её притоки. Однако в настоящее время наблюдается значительное поступление загрязняющих веществ в речную систему. Попадая в водную среду в виде растворённых соединений, а также в составе взвешенного вещества, тяжёлые металлы начинают мигрировать в ней в результате процессов сорбции и десорбции, комплексообразования, гидролиза. При этом значительная часть тяжёлых металлов мигрирует

Г.Ю. Толкачёв*,
к.г.н.,
научный сотрудник
Института водных
проблем РАН

в виде взвеси и частично депонируется в донных отложениях в виде потоков рассеивания.

Характер почвенного покрова и особенности гидрологического режима Верхней Волги привели к образованию донных отложений, представленных на всём её протяжении песками полевошпатокарбонатного состава с незначительной примесью глинистого материала. Снижение скорости течения наблюдается только в начале Иваньковского водохранилища, что приводит к седиментации мелких фракций взвешенного вещества. Целью проведенного исследования являлось определение уровня содержания тяжёлых металлов в донных отложениях и, как следствие, определение техногенной нагрузки на речную систему, а также оценка опасности вторичного загрязнения Верхней Волги.

Результаты и их обсуждение

Проведённые исследования соотношений взвешенных и растворённых форм тяжёлых металлов в Верхней Волге и Иваньковском водохранилище показали значительные различия на этих участках (табл. 1).

На речном участке такие элементы, как Cr, Ni, Pb, Co, Cd, Zn и Mn мигрируют преимущественно в виде взвеси, а Cu и Fe – преимущественно в растворённой форме. При этом в створах, расположенных ниже выпусков городских сточных вод, наблюдается возрастание роли растворённых форм (табл. 2).

* Адрес для корреспонденции: k-26@yandex.ru

Таблица 1

Отношение взвешенных форм тяжелых металлов к растворённым формам в водах на незарегулированном участке Верхней Волги и в Ивановском водохранилище в летний период (створы наблюдения выше городов) [1].

	Ржев	Торжок	Тверь	Эммаус	Городня	Слобода	Шошинский плес	Свердлово	Прилгоутинный учас-ток Ивановского водохранилища, лето	Прилгоутинный учас-ток Ивановского водохранилища, весна
Cu	0,5	0,14	0,4	0,51	0,55	0,05	0,06	0,31	0,4	0,2
Pb	2,4	2,7	2,9	0,6	1,0	0,35	0,06	1,0	0,88	0,53
Cr	11,0	1,2	12,7	0,1	0,2	3,4	4,4	0,6	0,18	0,12
Cd	3,4	1,7	7,0	0,5	0,8	—	—	10,9	0,9	0,48
Co	2,1	1,0	0,4	0,4	0,28	0,27	0,05	0,16	0,3	0,26
Mn	1,3	4,3	6,6	0,03	0,61	3,2	16,5	7,9	0,11	0,1
Fe	0,26	0,27	0,4	0,04	0,05	0,26	0,05	0,27	0,03	—
Ni	35,0	1,6	12,8	0,27	0,6	1,6	1,2	0,23	0,54	0,4
Zn	1,25	1,12	0,4	0,47	0,16	0,37	1,24	0,21	0,32	0,15
Ti	9,7	1,6	9,2	3,8	—	—	—	2,1	2,4	1,9

Доля взвешенных форм в водохранилище в весенний период уменьшается по сравнению с летним.

При оценке состояния донных отложений Верхней Волги основным методом был отбор проб с их последующим химическим анализом. Отбор проб проводился от Верхневолжских озёр до замыкающего створа Ивановского водохранилища. В качестве фоновых участков были выбраны донные отложения Верхневолжских озёр Волго и Пено. Их водосборная территория занята смешанным лесом, а сельскохозяйственная освоенность территории составляет 9%. Образцы были исследованы на наличие атомов Hg, Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Cr, Mn, As, Cd методами атомно-абсорбционной спектрометрии. Анализ подвергалась фракция ила с размером частиц <0,02 мм, обладающая высокой адсорбционной способностью и образующая наиболее контрастные ореолы и потоки рассеяния тяжёлых металлов в донных отложениях. Содержание тяжёлых металлов на фоновом участке приведено в табл. 3. В этой же таблице приведены фоновые содержания тяжёлых металлов, принятые по материалам съёмок, полученным в 1983 г. (Институт Минералогии, Геохимии и Кристаллохимии Редких Элементов (ИМГРЭ), ИВП РАН), а также фоновые значения для фракции ила содержащей частицы размером < 0,02 мм, принятые в Германии для р. Эльбы [2].

Для определения степени загрязнения донных отложений были найдены коэффициенты концентрации элементов К, равные отно-

шению содержания элемента на загрязнённом участке к его фоновому значению, а также суммарные показатели загрязнения Z:

$$Z = \sum K - (n - 1)$$

где n – число суммарных элементов.

По предложению ИМГРЭ уровни загрязнения донных отложений по суммарному показателю оцениваются следующим образом:

Z < 2 – фоновые значения;

Z = 2-4 – минимальное загрязнение;

Z = 4-8 – слабое загрязнение;

Z = 8-16 – среднее загрязнение;

Z = 16-32 – сильное загрязнение;

Z = 32-64 – интенсивное загрязнение;

Z > 64 – максимальное загрязнение.

Параллельно оценка степени загрязнения донных отложений по отдельным элементам была проведена по принятой в настоящее время в Германии методике, в которой используются i-геоклассы или индексы геоаккумуляции [2]. Используя тот же первичный материал, индексы геоаккумуляции определяются по формуле:

$$I - geo, n = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5B_n} \right)$$

где C_n – измеренная концентрация элемента n в донных отложениях (фракция менее 0,02 мм); B_n – геохимическая фоновая концентрация элемента n.

На основании этого уравнения донные отложения могут быть разделены на классы. Значение предельных концентраций тяжёлых металлов по i-геоклассам, рассчитанным по отношению к фоновым содержаниям в донных отложениях Верхневолжья, представлены в табл. 4.

Оценка уровней загрязнения донных отложений по i-геоклассам предложена и пред-

Таблица 2

Отношение взвешенных форм тяжёлых металлов к растворённым формам в водах незарегулированной части Верхней Волги выше и ниже городов (лето)

	Тверь		Ржев		Торжок	
	Выше	Ниже	Выше	Ниже	Выше	Ниже
Cu	0,4	0,14	0,5	0,4	0,14	0,17
Pb	2,9	0,89	2,4	2,1	2,7	1,8
Cr	12,7	9,3	11,0	9,0	1,2	1,0
Cd	7,0	1,7	3,4	1,0	1,0	0,54
Co	0,4	0,4	2,1	0,25	1,0	0,5
Mn	6,6	2,0	1,3	3,0	4,3	9,0
Fe	0,4	0,37	0,26	0,29	0,26	0,26
Ni	12,8	1,8	35,0	12,0	1,6	0,5
Zn	0,4	0,6	1,25	0,2	1,12	0,25
Ti	9,2	0,81	9,7	1,1	1,6	0,8

Таблица 3

Фоновые значения содержания тяжелых металлов в донных отложениях Верхневолжских озёр (мг/кг)

	Для фракции <0,02 мм [1]	По материалам съёмки ИМГРЭ 1983г.	Для фракции <0,02мм [2]
Mn	1162,5	680,0	850,0
Cd	0,37	0,30	0,30
Zn	125,6	37,0	95,0
Pb	14,47	19,0	20,0
Cu	18,15	35,0	45,0
Ni	20,57	11,0	68,0
Co	10,67	6,3	19,0
Cr	32,17	29,0	90,0
Hg	0,12	–	0,4
As	3,83	–	13,0
Ag	0,27	0,04	–

ставлена в *табл. 5*. Там же представлена оценка техногенной нагрузки на водные экосистемы, предложенная в [3]. В *табл. 6* и *7* приведены уровни загрязнения донных отложений Верхней Волги, подсчитанные по методике ИМГРЭ и методике, принятой в Германии.

Таблица 4

Значение предельных концентраций основных тяжелых металлов по *i*-геоклассам, рассчитанных по отношению к их фоновым содержаниям в донных отложениях Верхневолжья

Элементы (мг/кг)	Фоновые значения	Классы геоаккумуляции (<i>i</i> -геоклассы)						
		0	1	2	3	4	5	6
Hg	0,12	0,18	0,36	0,72	1,44	2,88	5,76	>5,76
Cu	18,15	27,75	55,5	111,0	222,0	444,0	888,0	>888,0
Zn	125,6	188,4	376,8	753,6	1507,2	3014,4	6028,8	>6028,8
Ni	20,57	30,85	61,7	123,4	246,8	493,6	987,2	>987,2
Co	10,67	16,0	32,0	64,0	128,0	256,0	512,0	>512,0
Pb	14,47	21,7	43,4	86,8	173,6	347,2	694,4	>694,4
Cr	32,17	48,25	96,5	193,0	386,0	772,0	1544,0	>1544,0
Mn	1162,5	174,37	3487,4	6974,8	13949,6	27899,2	55798,4	>55798,4
As	3,83	5,74	11,48	22,96	45,92	91,84	183,68	>183,68
Cd	0,37	0,55	1,1	2,2	4,4	8,8	17,6	>17,6

Таблица 5

Оценка уровня загрязнения донных отложений по *i*-геоклассам и техногенной нагрузке на водные экосистемы

<i>i</i> -гео класс	Уровень загрязнения тяжелыми металлами, [2]	Техногенная нагрузка на водные экосистемы, [3]	
0	незагрязненный	I	слабая (малоопасная)
1	от незагрязненного до умеренно загрязненного		
2	умеренно загрязненный	II	умеренная (умеренно опасная)
3	средне загрязненный		
4	сильно загрязненный	III	сильная (опасная)
5	от сильно загрязненного до чрезмерно загрязненного		
6	чрезмерно загрязненный	IV	чрезмерная (чрезвычайно опасная)

Анализ материалов съёмки 1983 г. показал, что загрязнение донных отложений р. Волга выше г. Тверь выражено слабо (*табл. 7*). В черте г. Тверь и ниже по течению донные отложения сильно загрязнены. Тот же характер носит загрязнение донных отложений р. Тверца. Доминирующими загрязняющими элементами являлись Ag, Zn, Pb. Также наблюдалось загрязнение устьевых участков притоков Волги – Тверцы и Тьмаки. В 2000 г. съёмка была проведена при участии автора данной статьи 7-ой совместной международной экспедицией, организованной Государственным научным учреждением Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова и Гейдельбергским университетом (Германия). Материалы съёмки показали, что загрязнение донных отложений значительно снизилось по сравнению с 1983 г. Средний уровень загрязнения донных отложений имеет место только в устьевых зонах рр. Вазуза и Тверца. Даже ниже г. Тверь уровень загрязнения донных отложений р. Волги диагностируется как слабый. Такие элементы как Cu, Zn, Ni, Co, Pb, Cr, As,