

## **Технофильные элементы в донных отложениях Воткинского водохранилища**

**Н.Н. Назаров, Е.А. Ворончихина**

Активное вовлечение в хозяйственный оборот минеральных ресурсов географической оболочки обусловило появление дефиниции «технофильные элементы». К ним принято относить химические элементы, главным образом металлы, рассеиваемые человеком в среде обитания. Экологические особенности технофильных элементов – длительный, измеряемый десятками и сотнями лет, период полураспада в естественных условиях, биофобность, выраженная в токсичности для живого вещества биосферы, в наличии канцерогенных и мутагенных свойств, склонность к вовлечению в биологический круговорот и концентрирование в пищевой цепи – делают их чрезвычайно опасными и пока мало изученными загрязнителями природной среды.

Объемы рассеивания технофильных элементов год от года нарастают, вызывая увеличение их концентраций в среде обитания биота и формирование антропогенных геохимических аномалий. Интенсивность техногенной аккумуляции обусловлена различными факторами: отчасти химическими особенностями рассеиваемых элементов, их устойчивостью в природных условиях, но в большей степени – природными условиями ареалов рассеивания, создающими предпосылки как для миграции, так и для депонирования загрязнителей. В свете современной теории экологической геохимии наибольшей предрасположенностью к накоплению технофильных элементов отличаются геосистемы, замыкающие низовые звенья парагенетических систем различных порядков: от котен до ландшафтно-геохимических арен [2]. Как правило, такие геосистемы соответствуют понижениям рельефа, осуществляющим функции приемников-накопителей водосборных потоков, поэтому по их состоянию можно судить об экологической ситуации на значительной части водосбора. На региональном уровне таковыми выступают крупные водохранилища, замыкающие каскадные парагенетические геосистемы речных бассейнов. Именно поэтому изучение аквальных комплексов водохранилищ дает наиболее полное представление об экологическом состоянии сопряженных с ними бассейновых геосистем. Несмотря на очевидность изложенного, аквальные природные комплексы водохранилищ в геохимическом отношении изучены крайне слабо. Практически нет данных, отражающих современное геохимическое состояние камских водохранилищ, концентрирующих геохимическую информацию одного из старейших промышленных регионов России. В связи с этим предпринята попытка первичной эколого-геохимической оценки Воткинского водохранилища, замыкающего бассейн Верхнекамья.

Воткинское водохранилище имеет недавнюю историю. Его наполнение началось в 1961 г., формирование береговой зоны не завершилось до настоящего времени. Естественной стабилизации берегов препятствуют суточные, сезонные, годовые колебания уровня вод, обусловленные как естественными, так и антропогенными факторами, в частности, влиянием сбросов расположенного выше по течению Камского водохранилища. Геохимическая специфика рассматриваемого объекта определяется попеременным доминированием двух процессов – седиментации и выноса, результатом совокуп-

---

© Н.Н. Назаров, Е.А. Ворончихина, 2006

Исследование выполнено при поддержке РФФИ по проекту № 03-05-064-969

ного действия которых является относительно маломощный, не более 40-60 см, профиль донных отложений [1]. В соответствии с программой исследования в первой декаде августа 2003 г. в средней части водохранилища между притоками р. Змеевка и р. Гиблая (нижняя зона) проведен отбор проб донных отложений с целью геохимического изучения. Протяженность линии профиля составила около 6000 м, на нем и было размещено 16 пунктов пробоотбора через примерно равные промежутки. Учитывая небольшую мощность иловой толщи, пробы отбирались на всю глубину слоя донных отложений. Илы рассматривались по элементному и механическому составу, содержанию органического вещества, щелочно-кислотным свойствам. Элементный анализ выполнен в Зональной геохимической лаборатории стандартным атомно-эмиссионным методом на ДФС-8, прочие – в агрохимической лаборатории ЕНИ при ПГУ.

Полученные данные показали, что в пределах рассматриваемого профиля прослеживается пространственная неоднородность иловых отложений по механическому составу (от песка до тонкого ила), биогенным и геохимическим свойствам. В сравнении с расположенными ниже водохранилищами Волжского каскада, в донных отложениях которых органика представлена мало, рассматриваемые илы в значительной степени насыщены органическим веществом – его содержание колеблется от 0,7 до 39,8 %. Наименьшие концентрации характерны для песчаных отложений мелководий, по мере увеличения глубин содержание органического вещества увеличивается. Кислотно-основные свойства субстрата имеют значения, обычные для гумидных условий, и в пределах профиля сглажены – рН колеблется в пределах 6,9 – 7,7 – в то время как микроэлементный состав субстрата отложений существенно варьирует. Суммарное валовое содержание типичных для седиментационных условий микроэлементов колеблется от 3507,0 до 13307,0 мг/кг сухой массы субстрата. В геохимическом спектре отложений преобладают катионогенные элементы из группы тяжелых металлов. Их доля в пробах – от 30 до 95 % валового состава. Превалирование катионогенных элементов в иловых массах является, очевидно, следствием нейтральной и слабощелочной гидрохимической обстановки, характерной для рассматриваемых условий, в которой их миграционная активность резко снижается.

Спектр микроэлементов, выявленных в пробах, пестр, концентрации существенно изменяются в пределах профиля (табл. 1). Так, никель наиболее представлен в отложениях тонких илов серого цвета с высоким содержанием ракушечника, отобранных с глубины свыше 7,0 м (пробы 10 и 11 в табл. 1). Здесь его концентрация превышает региональный фон в 8 раз, в то время как содержание прочих элементов в спектре данных проб не выделяется из общего ряда. Весьма своеобразно распределение редких и рассеянных элементов – мышьяка, сурьмы, молибдена и др. Первый обнаружен только в трех из шестнадцати проб, но в очень высоких для природного фона концентрациях – 10 – 100 мг/кг сухой массы. Сурьма представлена в 9 пробах, варьирование ее концентраций коррелирует с насыщенностью субстрата органическим веществом. Молибден и бериллий распределяются более равномерно, но в целом в меньших концентрациях. Примечательна необычно высокая, за исключением пробы 1, концентрация хрома, зачастую превышающая ПДК до 50 раз (см. в табл. 1 пробы 10 и 11).

По результатам анализов рассматриваемые субстраты отнесены к двум геохимическим классам, выделенным для водохранилищ А.И.Перельманом, Н.С. Касимовым [2]: 1-й класс – окислительные илы; 2-й класс – восстановительные (глеевые) илы. Первые отлагаются на участках, для которых характерны постоянные движения водных масс и наличие водной растительности, т. е. условия, обеспечивающие достаточно высокое для нормального развития окислительного процесса содержание кислорода в воде. Такие морфологические части выделяются в структуре водохранилищ облегченным, как правило, песчаным составом грунтов, малым содержанием в них органического

вещества, активным развитием окислительных процессов в макро- и микроэлементной части химического спектра. За счет окисленных форм железа и марганца донные отложения приобретают желтый, бурый, красновато-коричневый цвет. Окислительные илы выявлены в пробах 3, 4, 5, 6, 16. Они индуцируют в границах акватории участки геохимического обогащения катионогенными элементами, родственными железу и марганцу. Вторые – глеевые илы – отражают ситуацию, складывающуюся в застойных, зачастую наиболее глубоководных участках водохранилищ. Для них характерно высокое содержание органики как в водной массе, так и в илах, дефицит содержания кислорода в воде и, как следствие, преобладание в геохимическом спектре илового субстрата неокисленных форм металлов, придающих субстрату характерный серый или сизый цвет (пробы 7, 9, 10, 11, 13 в табл. 1).

Таблица 1

**Микроэлементный состав илов Воткинского водохранилища**

№ проб	Валовое содержание элементов в пробах, мг/кг сухой массы												
	Ni	Co	Cr	Mn	V	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Ba	Sr	Zr
1	18	18	18	4000	50	40	60	20	10	30	700	700	50
2	100	30	180	1000	300	150	180	20	0	0	1000	300	180
3	70	18	300	1000	100	70	90	30	0	0	900	400	500
4	40	15	50	600	100	60	60	10	0	0	700	400	150
5	100	30	400	2000	200	70	150	20	0	30	700	400	400
6	90	20	300	3000	180	90	100	30	0	0	600	300	500
7	90	30	300	5000	200	70	100	20	0	30	500	300	400
8	70	30	300	7000	300	70	100	30	0	30	500	300	400
9	70	20	300	7000	200	90	180	30	0	0	700	200	150
10	200 0	100	5000	5000	150	90	150	20	0	0	500	100	150
11	200 0	100	5000	4000	150	70	90	15	0	30	400	100	150
12	200	40	1500	5000	300	100	200	40	100	30	600	150	400
13	40	20	100	3000	100	70	90	20	0	30	700	200	200
14	100	30	300	4000	300	100	200	40	100	30	700	200	300
15	300	40	1500	5000	200	100	180	30	0	30	700	200	300
16	90	20	180	1000	180	90	100	30	0	0	700	200	500

Своеобразие гидрохимического режима рассматриваемого водохранилища, обусловленное неравномерным стоком, неоднородным по температуре, биогенной нагрузке и химизму, приводит к тому, что на значительной части акватории окислительные и восстановительные условия могут чередоваться во времени. Это сопровождается соответствующей сменой режимов формирования иловых осадков и позволяет выделить переходный геохимический класс илов со своеобразной геохимической спецификой (пробы 2, 8, 12, 14, 15 в табл. 1). Для них типичны наличие слоев с различными окислительно-восстановительными свойствами и ярко выраженный аккумулятивно-

седиментационный потенциал, снижающий миграционную активность практически всех химических ингредиентов водных растворов.

Геохимическая специфика илов разных классов по кларкам концентрации ( $K_C$ ) элементов дана в табл. 2. Приведенные в ней ряды распределения отражают геохимическую специфику ландшафтно-морфологических частей Воткинского водохранилища. Вариабельность элементной нагрузки существенно различается для рассмотренных условий. Наиболее высокий  $K_C$  – 86-343 – имеет сравнительно мало представленный, но по уровню концентрации возглавляющий все ряды элемент – сурьму. Превалирование сурьмы сглаживает своеобразие рядов распределения, однако, начиная со второго элемента ряда, геохимическая специфика в них проявляется четко. В окислительном ряду более представлены катионогенные элементы, приоритетное место занимает свинец, далее по убыванию расположены прочие элементы. В глеевом ряду на втором месте находится анионогенный элемент – хром, за которым выстраиваются прочие анионогенные элементы и элементы с переменной валентностью. Переходный ряд отражает специфику наиболее напряженных геохимических условий и начинается тремя типично технофильными элементами – сурьмой, мышьяком и свинцом – кларки концентрации которых достигают здесь наибольших значений.

Таблица 2

**Геохимическая специфика иловых толщ Воткинского водохранилища**

№ п/п	Геохимический класс илов	Элементный состав. Кларки концентрации элементов
1	Окислительный	$Sb_{86} Pb_{20} Ni_{13} Ba_{12} Co_9 Zr_8 Mn_5 Sr_4 Cr, Cu_3 V, Zn_2$
2	Восстановительный	$Sb_{143} Cr_{24} Pb_{20} Ba_9 Ni_7 Zr_4 Cu_3 Mn, V, Zn, Sr_2$
3	Переходный	$Sb_{343} As_{40} Pb_{32} Mn_{15} Ba_{12} Cr_8 Zr_6 Co, V_4 Ni, Sr, Zn_3$

Выявленная специфика весьма тревожна с экологических позиций, поскольку свидетельствует о формировании в донных отложениях устойчивой техногенной аномалии, геохимически адекватной горно-промышленному профилю Верхнекамья, выполняющему функции водосборной площади, т. е. ландшафтно-геохимической арены по отношению к Воткинскому водохранилищу. Данное обстоятельство диктует насущную необходимость организации системы биогеохимического мониторинга на базе рассмотренного объекта с целью контроля за развитием ситуации, ее углубленного изучения с оценкой состояния биотических компонентов и разработкой мер по предотвращению возможных негативных последствий.

**Библиографический список**

1. Назаров Н.Н. Основные закономерности формирования рельефа дна Воткинского водохранилища / Н.Н. Назаров, Л.А. Кузнецова // Геоморфология Центральной Азии. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2001. С. 161 – 164.
2. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / А.И. Перельман, Н.С. Касимов. М.: Астрель, 1999.