

ВЛИЯНИЕ АБРАЗИИ БЕРЕГОВ НА ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АНГАРСКИХ ВОДОХРАНИЛИЩ

Г.А. Карнаухова, Т.М. Сковитина

Учреждение Российской Академии наук Институт земной коры СО РАН, Иркутск, Россия

karnauh@crust.irk.ru; skovit@crust.irk.ru

За период эксплуатации Ангарских водохранилищ природные условия, определяющие гидрохимические характеристики, изменились незначительно и на первый план выходят более активные природно-техногенные факторы, такие как абразия берегов водохранилищ. Абразионные процессы не затухают во времени, интенсивность их проявления не снижается, в результате поступление в водохранилища абразионного материала и слагающих его химических элементов продолжается по-прежнему, сказываясь на составе воды в водохранилищах.

INFLUENCE OF SHORE ABRASION ON ANGARIAN RESERVOIRS HYDROCHEMICAL CHARACTERISTICS.

Karnaukhova G.A., Skovitina T.M.

During the Angarian reservoirs usage period a natural conditions, defining hydrochemical features, have not changed vastly, and more active natural-technogenic factors, such as shore abrasion, are coming to the foreground. Abrasion processes do not stop in time and their intensity does not decrease, as a result flow of abrasion materials and chemical elements, composing them, into the reservoirs continues as before and defines the water composition.

Вода водохранилищ по химическому составу – сложная многокомпонентная система, имеющая много общего с природными водоемами. Количество и состав находящихся в ней веществ изменяются в межгодовом разрезе, по сезонам года, глубине и акватории водоема. Такие изменения происходят под влиянием абиотических, биологических и антропогенных факторов. В природных условиях эти факторы действуют в сложной взаимосвязи и взаимозависимости, определяя трансформацию основных химических компонентов и направленность процессов круговорота веществ [1].

Сток реки Ангары, вытекающей из озера Байкал, зарегулирован каскадом Ангарских водохранилищ, что явилось одним из видов масштабного антропогенного воздействия в результате нарушения естественных связей, закономерностей и механизмов развития ее водной системы. Состав воды Ангарских водохранилищ формируется на фоне состава водных масс озера Байкал, определяемого естественными условиями региона [5]. Влияние этих условий создало природный фон с относительно постоянным химическим составом вод и определенными закономерностями миграции элементов.

За период эксплуатации Ангарских водохранилищ природные условия, определяющие гидрохимические характеристики, изменились незначительно и на первый план выходят более активные природно-техногенные факторы, такие как абразия берегов водохранилищ. В настоящее время исследования роли абразии в формировании внутренних геохимических характеристик водохранилищ явно недостаточны. Поэтому в нашу задачу входило определение степени

влияния материала абразионного происхождения на формирование некоторых гидрохимических характеристик Ангарских водохранилищ.

Опыт длительной эксплуатации исследуемых водохранилищ показал, что абразионные процессы не затухают во времени и интенсивность их проявления не снижается. Следовательно, поступление в водохранилища абразионного материала и слагающих его химических элементов продолжается по-прежнему, сказываясь на составе воды в водоемах. Активное развитие абразионных процессов явилось следствием перестройки рельефа береговой зоны после создания каскада водохранилищ на реке Ангаре.

Береговая зона водохранилищ сложена породами разного возраста и состава. Самыми древними породами, слагающими берега Ангарских водохранилищ, являются прочные, неразмываемые метаморфические и магматические породы докембрия, расположенные в верхней и частично, в средней зоне Иркутского водохранилища. Палеозойские образования, слагающие берега Братского и Усть-Илимского водохранилищ, представлены породами ангарской и верхоленской свит кембрия. Ангарская свита сложена доломитами и известняками. Основная часть разреза верхоленской свиты кембрия (примерно 55–70%) слагается аргиллитами, мергелями и алевролитами. Почти все глинистые породы этой толщи в той или иной мере карбонатны и крайне нестойки к процессам выветривания.

Отложения ордовика в береговых уступах Ангарских водохранилищ представлены усть-кутской, ийской, мамырской и братской свитами, сложенными аргиллитами, алевролитами и песчаниками. В химическом составе отложений ордовика преобладают SiO_2 и CaO . Содержание органического вещества в аргиллитах может изменяться от 6,3 до 41,1%. В песчаниках более высок процент Fe_2O_3 , в аргиллитах – MgO [2].

Разрез отложений силура представлен глинистыми и песчано-карбонатными породами кежемской и ярской свит, среди которых аргиллиты составляют до 70% толщи. Катская свита карбона представлена часто переслаивающимися песчаниками, аргиллитами и алевролитами. Песчаники средне- и мелкозернистые, полимиктовые, глинистые. Аргиллиты высокодисперсные, состоят в основном из алюмосиликатной части при незначительном содержании окислов кальция, магния, углерода и железа [6].

Отложения юры представляют собой типичные фации руслового и пойменного аллювия, включающего конгломераты и галечники, песчаники и пески, алевролиты, аргиллиты и различные глины. Общим для всех разновидностей юрских пород является однообразие их химического состава, незначительное количество воднорастворимых солей, слабая карбонатность и повышенное содержание полуторных окислов.

Четвертичные отложения представлены гравийно-галечным материалом, песками, супесями, суглинками. По площади распространения ведущее положение среди рыхлых четвертичных отложений в береговой зоне водохранилищ занимают делювиальные разности. По инженерно-геологическим свойствам делювиальные суглинки и супеси подразделяются на лессовидные и необлессо-

ванные. Наиболее песчанисты лессовидные суглинки в поле развития верхнекембрийских пород.

Протяженность абразионных берегов Ангарских водохранилищ составляет более 2 тыс. км. Более размываемы сильно выветрелые и слабо противостоящие морозному воздействию различные глинистые, песчаниковые, слабо карбонатные разности, либо лессовидные породы, разрушение которых обусловлено потерей их прочности при размокании. Наибольшую протяженность на водохранилищах имеют размываемые берега, сложенные покровными четвертичными аллювиальными и делювиальными отложениями, дающими основную массу химических элементов.

Абразия сопровождается поступлением огромных объемов размытого материала в водохранилища (более 224 млн. т/год), составляя более 98 % от суммарного прихода осадкообразующего материала [4]. Интенсивность поступления осадочного материала в результате абразионных процессов находится в прямой зависимости от геоморфологических и инженерно-геологических условий береговой зоны, состава и прочности размываемых пород, гидродинамических условий в водохранилищах.

Разновозрастные породы, слагающие абразионные берега, имеют различные химические и физические свойства, что, наравне с объемами размыва, определяет качественный состав и количество элементов, поступающих в водохранилища. Абразии подвергаются береговые уступы водохранилищ, сложенные породами палеозоя, мезозоя и кайнозоя. Поступающий в водохранилища абразионный материал включает как элементы основного состава, так и биогенные, водорастворимые, органические вещества и тяжелые металлы (табл. 1). Среди микроэлементов абразионного происхождения лидером по поступлению является марганец (более 27 % от суммы поступления МЭ), в небольшом же количестве в водохранилища попадает свинец.

Таблица 1

Величины поступления абразионного материала и его компонентов в Ангарские водохранилища

Компонент поступления	Водохранилище		
	Иркутское	Братское	Усть-Илимское
Абразионный материал, тыс. т/год, в том числе (% от суммы поступления):	246.5	219561.5	4306.0
- элементы основного состава	97.04	71.1	78.8
- биогенные вещества	0.08	0.17	0.28
- органические вещества	2.7	8.09	13.04
- тяжелые металлы	0.08	0.04	0.11
- воднорастворимые соли	0.1	20.6	7.77

Все это создает пространственную неоднородность гидрохимического состава Ангарских водохранилищ. Однако большая часть абразионного материала переходит в донные осадки, что находит свое отражение в распределении в воде взвешенного материала по длине водохранилищ (рис. 1).

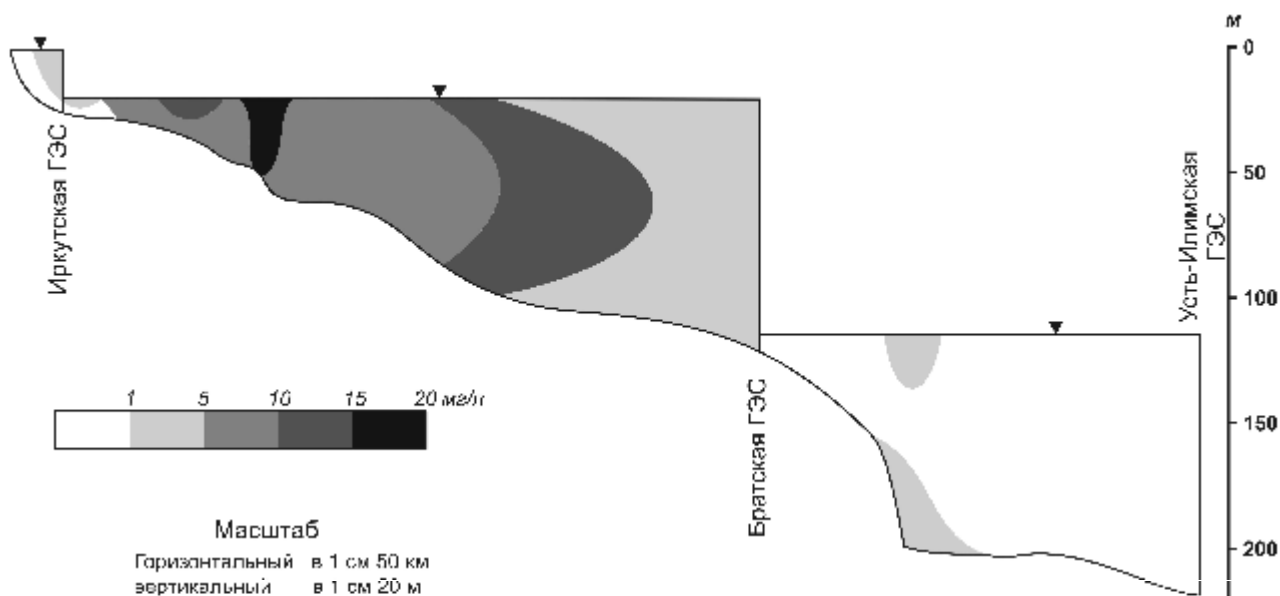


Рис. 1. Схема распределения содержания взвешенных веществ (мг/л) в воде по продольному профилю Ангарских водохранилищ

По химическому составу вода Ангарских водохранилищ относится к гидрокарбонатному классу группы кальция, тип воды – первый или второй. Среди анионов преобладает HCO_3^- , а среди катионов наиболее выделяется Ca^{2+} , за ним следует Mg.

Исследования, проведенные нами, показали, что для головного в каскаде – Иркутского водохранилища, новые условия (высокая проточность, небольшие величины поступления абразивного материала) оказались более благоприятными для сохранения природного фона. В результате в настоящее время гидрохимический режим Иркутского водохранилища близок к режиму Ангары до ее зарегулирования и определяется, в значительной мере, составом байкальской воды. Увеличение количества ионов в водохранилище до 96.5 мг/л связано в основном с повышением минерализации воды оз. Байкал и выпадением на поверхность водохранилища атмосферных осадков, насыщенных соединениями химических элементов техногенного происхождения [3].

В Братском и Усть-Илимском водохранилищах условия менее благоприятны для сохранения природного фона. В этих водохранилищах происходит накопление генетически разнородных водных масс и трансформация их качественного и количественного состава под влиянием различных факторов, в том числе и абразивных процессов в береговой части водохранилищ. Абразивные процессы, приводящие к поступлению значительных объемов химических элементов, меняют исходный состав воды водохранилищ (табл.2).

Таблица 2

Некоторые гидрохимические показатели Ангарских водохранилищ

Гидрохимический показатель	Водохранилища		
	Иркутское	Братское	Усть-Илимское
Минерализация, мг/л	96.5	120.3	131.3
ОВ, мг/л	5.7	11.4	19.5
БВ, мг/л,	0.037	0.402	0.61

в том числе: NH_4^+	0.011	0.180	0.280
NO_3^-	0.022	0.200	0.280
NO_2^-	0.001	0.010	0.010
$\text{P}_{\text{мин}}$	0.003	0.012	0.040
Si, мг/л	1.0	1.13	0.80
Al, мкг/л	3.93	6.8	10.2
Fe, мг/л	0.007	0.024	0.041

Минерализация по длине Братского водохранилища изменяется от 112,0 до 122,53 мг/л, что связано как с влиянием вод притоков, так и их внутриводоемной метаморфизацией, обусловленной поступлением водорастворимых солей в составе абразионного материала.

В процессе становления гидрохимического режима Усть-Илимского водохранилища тип и класс воды остается таким же как и в вышележащих водохранилищах. Формирование гидрохимических характеристик Усть-Илимского водохранилища происходит под влиянием водных масс Братского водохранилища, притоков, сброса сточных вод и абразионных процессов в береговой зоне. Транзитный перенос растворенных веществ сохраняется лишь в верхней его части до района Долгого порога. Среднее значение минерализации воды Усть-Илимского водохранилища составляет 131,3 мг/л (рис. 2).

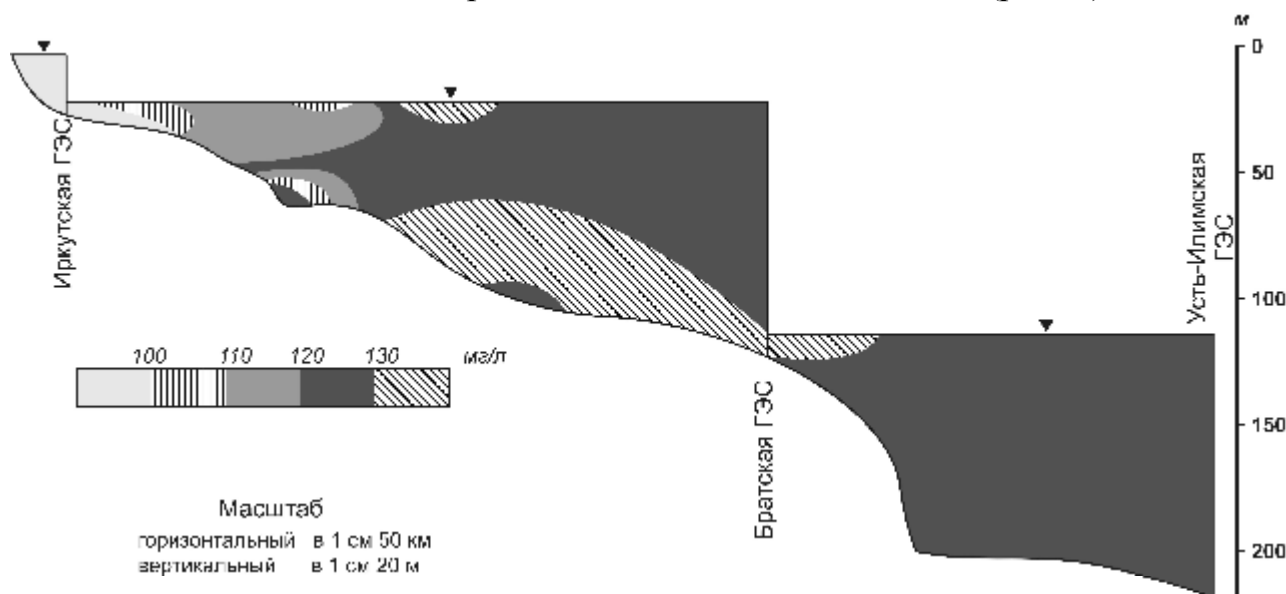


Рис. 2. Схема распределения минерализации (мг/л) воды по продольному профилю Ангарских водохранилищ

Многолетними наблюдениями установлено, что на водохранилищах Ангарского каскада отсутствует стратификация распределения величины минерализации по глубине водоемов. Необходимо также подчеркнуть, что на водохранилищах сохраняется характерная для незарегулированных рек обратная зависимость величины минерализации от расхода воды (минимальные расходы воды в зимний период сочетаются с максимальными значениями минерализации воды) [5].

Перемещение ангарской воды по каскаду водохранилищ сопровождается ростом концентраций большинства микроэлементов, определяемое различными причинами, среди которых значительное влияние оказывает поступление абразионного материала. Абразионные процессы в береговой зоне и поступление терригенного материала приводят к увеличению количества элементов в воде водохранилищ. В Ангарских водохранилищах наблюдается зависимость концентрации элементов в воде от ее общей мутности, связанной, с размывом берегов. Так, в Иркутском водохранилище с его небольшой мутностью воды для всех элементов характерно увеличение роли растворов. Увеличение же содержания терригенных частиц в воде за счет поступления абразионного материала приводит к росту в нижней части Иркутского водохранилища и доминированию в Братском и Усть-Илимском водохранилищах взвешенной формы элементов.

Вода, поступающая в Иркутское водохранилище из озера Байкал, содержит химические элементы в растворенной форме, т.е. она является исходной для водных масс Ангарских водохранилищ. Локализация повышенных содержаний элементов в воде Иркутского водохранилища происходит ниже пос. Патроны, т.е. наблюдается явная приуроченность к участкам с развитием абразионных процессов в береговой части (рис. 3). Неравномерность распределения концентраций обусловлена интенсивностью развития абразионных процессов в береговой зоне водохранилища и литолого-геохимическим составом абрадируемых пород.

Самыми активными мигрантами являются Co, Mo, Cu, большая часть из них находится в растворе. Ниже пос. Патроны, протягиваясь вплоть до плотины Иркутской ГЭС, в воде появляется взвешенная форма элементов, что приводит к росту валовой концентрации элементов по длине водохранилища. Низкая миграционная способность характерна для Ni, больше половины элемента (52 %) мигрирует в составе взвеси. По процентному содержанию взвешенных форм металлы располагаются в следующий ряд: Ni-Zn-V-Cr- Mn- Pb-Cu- Mo.

При размыве делювиальных лессовидных суглинков на участке Первомайск Братского водохранилища наибольший рост концентрации отмечается у Cr и Cu (в 3 и 2 раза соответственно), наполовину прирастает содержание Zn и Pb, незначительно увеличивается в воде количество Mn и практически неизменным остается содержание V (рис.4). Ниже этого участка (Балаганск – Усть-Уда) происходит постепенное снижение концентрации микроэлементов в воде в результате их соосаждения с глинистыми частицами и переход в донные отложения.

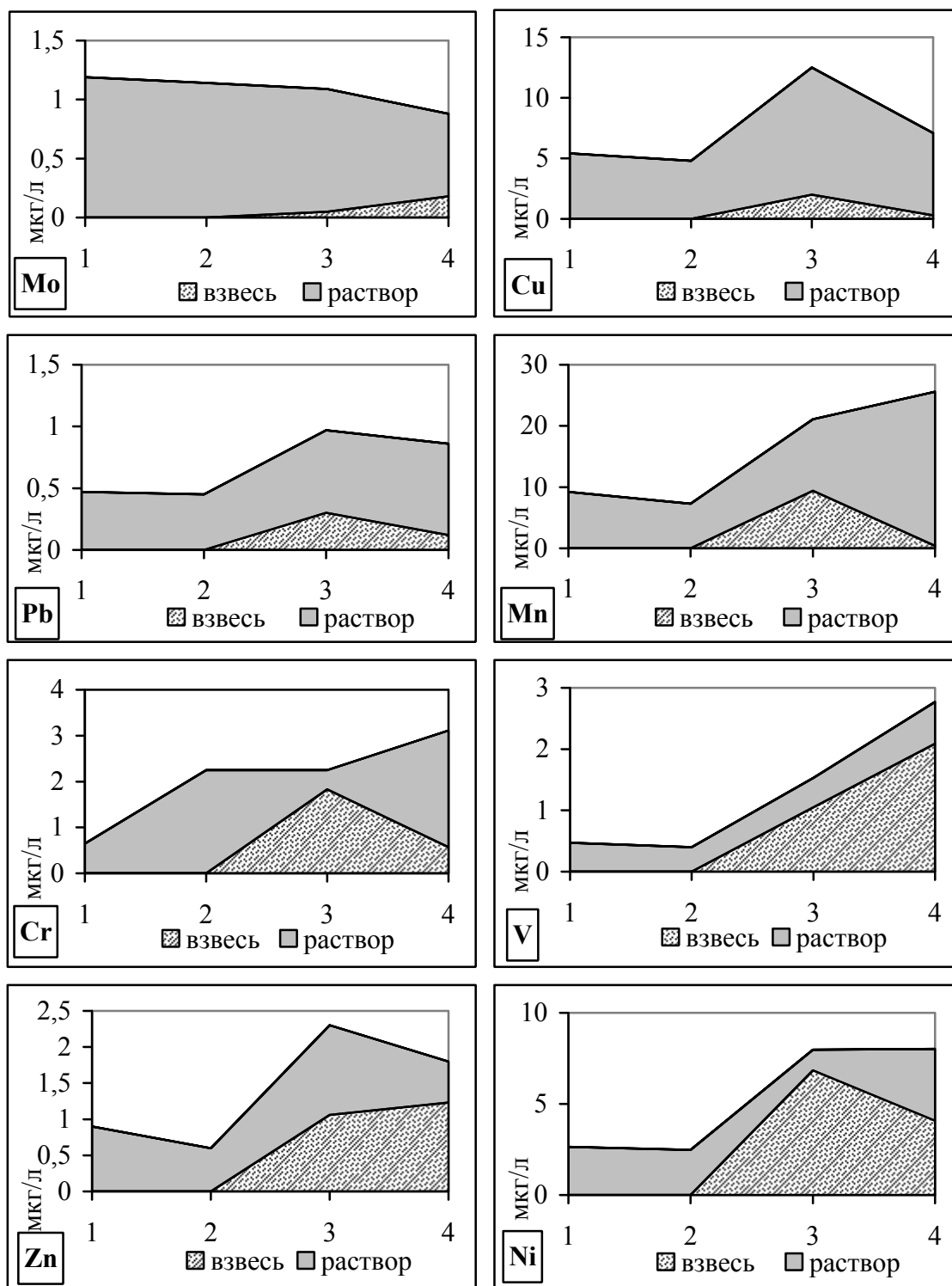


Рис. 3. Распределение взвешенной и растворенной форм микроэлементов в воде Иркутского водохранилища
 Участки наблюдения: 1- Никола; 2 – Патроны; 3 – Солнечный; 4 - Плотина

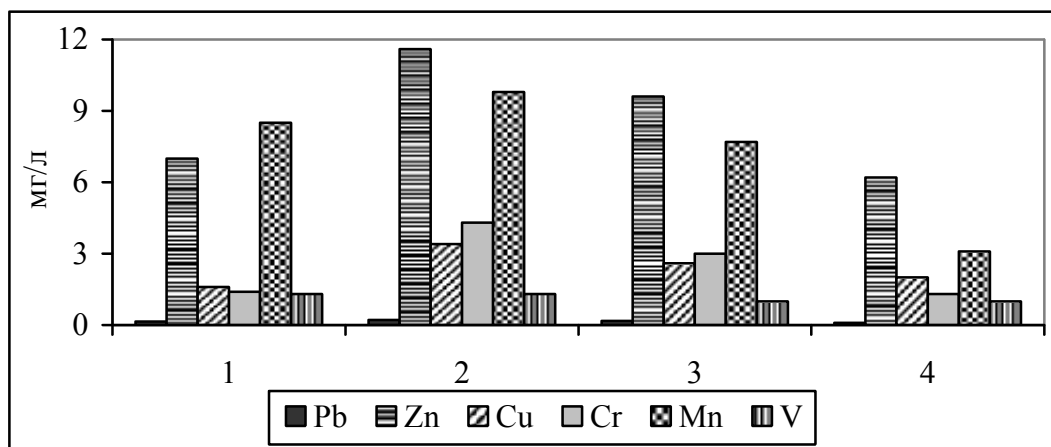


Рис. 4. Распределение микроэлементов в воде Братского водохранилища. Участки наблюдения: 1- Правая стрелка Осы; 2- Первомайск; 3 – Балаганск; 4 – Усть-Уда

В Братском и Усть-Илимском водохранилищах миграционные ряды зависят как от химических свойств элементов в исходной воде, так и от состава размываемых пород береговой зоны. Легко мигрирующими в Братском водохранилище являются Mo, Co. Подвижны во всех водохранилищах каскада Cr, Pb, Zn, мигрирующие и в составе взвесей и в растворенной форме.

Таким образом, проявление абразионных процессов в береговой зоне водохранилищ, приводящее к поступлению значительных объемов размытого материала различного состава, активно влияет на гидрохимические характеристики водоемов. Гидродинамические условия Ангарских водохранилищ, интенсивность абразионных процессов и литолого-геохимические особенности пород береговой зоны не способствуют становлению четко выраженной вертикальной стратификации в распределении элементов в водохранилищах.

Исходя из вышеприведенных материалов, можно предположить, что при создании искусственных земельных участков на берегах и акватории водных объектов не исключается загрязнение вод вблизи них.

ЛИТЕРАТУРА

1. Водохранилища и их воздействие на окружающую среду. М.: Наука. – 1986. – 365 с.
2. Карнаухова Г.А. Оценка выноса химических элементов, поступающих в Братское водохранилище // Водные ресурсы. – 1999. – Т. 26. – № 3. – С. 335-339.
3. Карнаухова Г.А., Кашик С.А. Изменение некоторых показателей химического состава воды ангарских водохранилищ за период их эксплуатации // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов на рубеже третьего тысячелетия. – Томск: Изд-во НТЛ. – 2000. – С. 123–126.
4. Карнаухова Г.А. Литогеохимические условия формирования состава водных масс Ангарских водохранилищ // Фундаментальные проблемы гидрогеохимии. – Томск: НТЛ. – 2004. – С. 156–160.

5. Карнаухова Г.А. Гидрохимия Ангары и водохранилищ Ангарского каскада // Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. - № 1. – С. 72–80.
6. Усть-Илимское водохранилище. Подземные воды и инженерная геология. -Новосибирск: Наука. – 1975. – 218 с.