

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОД ТРАНСГРАНИЧНЫХ РЕК КУРА-АРАКСИНСКОГО БАССЕЙНА (на примере речной системы Памбак-Дебед-Храми)

© 2008 г. А. Сагателян, Н. Кекелидзе*, М. Налбандян, М. Микелелян

*Центр эколого-ноосферных исследований НАН, Армения
0025, Ереван, ул. Абовяна, 68, e-mail: ecosentr@sci.am, eco-centr@rambler.ru*

**Тбилисский государственный университет, Грузия
Тбилиси, ул. Чавчавадзе, 1, e-mail: nkekelidze@geo.net.ge
Поступила в редакцию 09.11.2007 г.*

Данная научная работа направлена на исследование вод одной из трансграничных рек Южного Кавказа - реки Дебед-Храми с притоком Памбак. Исходным материалом являлись данные ежемесячного мониторинга за 2004-2006 гг. В результате исследования дана общая характеристика качества вод по основным ионам. Выявлены источники влияния и факторы формирования качества вод. Изучена динамика содержания и оценен уровень загрязнения вод тяжелыми металлами. В результате статистического анализа данных выявлены корреляционные зависимости между концентрациями ряда тяжелых металлов.

Данная работа посвящена комплексному исследованию качества вод рек Памбак и Дебед-Храми. В работе использованы результаты мониторинговых исследований, выполненных в период 2004-2006 гг. в рамках программы международного проекта НАТО/ОБСЕ N 977991 «Мониторинг рек Южного Кавказа» (2002-2008 гг.).

Реализация проекта в 3-х странах Южного Кавказа, оснащение лабораторий идентичными современными аналитическими приборами и использование единых методик определения аналитов обеспечивают достоверные, сопоставимые в региональном масштабе данные по качеству поверхностных вод. Ценность данной работы заключается в использовании полученных в Армении и Грузии сопоставимых результатов анализов для научной интерпретации и оценки качества вод трансграничной реки региона.

Материалы и методика

Исходным материалом являлись данные ежемесячного качественного мониторинга по реке Дебед-Храми с притоком Памбак в станциях р. Памбак - с. Ширакамут (Аг-1, Армения), р. Памбак - г. Ванадзор (Аг-2, Армения), р. Дебед - с. Айрум (Аг-3, Армения), р. Храми -

Красный Мост (Ге-10, Грузия).

Пробоотбор, консервация, транспортировка и хранение водных проб осуществлялись согласно Стандартным Операционным Процедурам (СОП) на основе методов ISO (Стандартные операционные..., 1998). Полевые измерения проводились переносным мультианализатором HANNA U-10.

Исследовались основные ионы - Na, K, Mg, Ca, SO₄, Cl, HCO₃, CO₃ и тяжелые металлы (ТМ) - Cu, Mo, Zn, Cr, Ni, Mn, Cd, As, Hg, Co, Pb. Анализ ТМ выполнялся на приборе PE Analyst - 800 методом атомной абсорбции с графитовым атомизатором. Измерения концентраций аналитов проводились в соответствии с разработанными СОПами на основе методов ISO (Фомин, 2000, 2000). Статистический анализ данных проводился с использованием непараметрической корреляции Спирмана (Статистическая программа Statistica 6.0), с учетом требований анализа рядов с малой выборкой.

Исследование основных показателей качества воды

Как видно из табл. 1, значения рН колебались в пределах 6,79 - 8,43. По уровню рН вода рек является умеренно-щелочной. Содержание рас-

Таблица 1

Результаты замеров основных показателей качества вод рек Памбак и Дебед за 2006 год

N/N	Станции мониторинга	Дата	рН	Еh (мВ)	Электропровод. См/см	O ₂ , мг/л	Температура (°С)	Соленость (%)
1	р. Памбак - с. Ширакамут	11.01.2006	8,43	270	0,420	13,01	1,8	0,01
		08.04.2006	8,29	240	0,231	8,78	11	0,00
		12.07.2006	6,97	240	0,462	7,51	16,3	0,01
		19.10.2006	8,10	200	0,439	9,82	13,3	0,01
2	р. Памбак - г. Ванадзор	11.01.2006	7,79	220	0,533	9,69	15,3	0,02
		08.04.2006	8,17	190	0,238	8,12	13	0,00
		12.07.2006	6,90	240	0,580	8,06	17,7	0,02
		19.10.2006	7,79	220	0,533	9,69	15,3	0,02
3	р. Дебед - с. Айрум	11.01.2006	7,88	210	0,352	13,74	4,7	0,01
		08.04.2006	7,18	240	0,235	10,80	14,2	0,00
		12.07.2006	6,79	250	0,404	7,21	22,8	0,01
		18.10.2006	7,84	210	0,331	9,12	15,0	0,01

творенного кислорода имеет относительно высокие значения и варьирует в пределах 7,21-13,74 мг/л, что обусловлено активным водообменом в реках и скоростью водотока. Величины окислительно-восстановительного потенциала (ОВ) Eh изменялись от 190 до 270 мВ. Известно, что ОВ потенциал поверхностных вод достигает 500-700 мВ. Кислород является наиболее универсальным окислителем. Даже небольшие его количества заметно влияют на величину Eh. При увеличении содержания кислорода в воде величина Eh также растет. В то же время необходимо отметить роль органических веществ, окисление которых может снизить Eh до весьма низких значений (Руководство..., 1977). Вероятно, с этим и связаны относительно низкие величины Eh в исследованных реках. Электропроводность, E, изменялась в пределах 0,231-0,580 См/см. Полученные величины соответствуют среднему уровню электропроводности природных поверхностных вод (Руководство..., 1977). Являясь косвенным показателем величины концентрации сильных электролитов в воде, E применяется для оценки минерализации вод. Исходя из полученных значений, можно заключить о среднем уровне минерализации вод исследованных рек.

Исследование основных ионов

Общая минерализация вод реки Дебед за период исследований колебалась в пределах 183,2-378,2 мг/л. Исходя из принятой классификации, воды исследованных рек с данным уровнем минерализации характеризуются как преимущественно гидрокарбонатные (Корюхина, Чурбанова, 1983). Из табл. 2 явствует, что относительно высокие значения общей минерализации характерны летнему и зимнему месяцам, что является следствием уменьшения расхода воды в реке в отмеченные сезоны.

Общая жесткость воды в р. Дебед составляла 3,65 мг-экв./л, а карбонатная – 2,7 мг-экв./л.

Согласно классификации природных вод по

жесткости вода реки характеризуется как мягкая (Корюхина, Чурбанова, 1983)..

Изучена динамика общей минерализации и расхода воды р. Памбак. Исследования показали, что максимальным значениям расхода воды наблюдаемым в апреле, соответствуют минимальные значения минерализации (рис. 1). Обратная закономерность наблюдается в январе. В станции Памбак-Ширакамут при увеличении объема воды уменьшается минерализация, что обусловлено отсутствием внешних техногенных источников загрязнения и природным происхождением ионного состава воды (рис. 1,а). В станции Памбак-Ванадзор картина меняется, и тем же значениям расхода соответствует более высокая минерализация, что связано с влиянием городских сточных вод г. Ванадзора (рис. 1,б). Наиболее высокая минерализация наблюдалась в 2006 году.

Исследование тяжелых металлов

Исследование динамики содержания тяжелых металлов в реках Памбак и Дебед - Храми.

В результате анализа данных по ТМ за 2006 год были отобраны в качестве представительных следующие металлы: Cu, Cd, Cr, Ni, Mn, Zn, динамика изменения содержания которых интерпретирована ниже. По другим ТМ значения концентраций были ниже MDL.

Анализ ситуации вниз по течению позволяет охарактеризовать динамику содержания ТМ следующим образом.

Для Cu и Cd характерна тенденция роста от станции Аг-1 к станции Ге-10, что связано с эксплуатацией в бассейне реки меднорудных и полиметаллических месторождений. Динамика содержания Cr и Ni по всему протяжению реки не отличается особыми скачками, за исключением наблюдающихся пиков в осенне-зимние месяцы в связи с характерной сезонной меженью. Для Mn и Zn так же, как и для Cu характерен рост от станции Аг-1 к Аг-3, что обусловлено

Таблица 2
Содержание основных ионов (мг/л) в водах реки Дебед за 2004-2006гг.

Дата отбора проб	Cl	SO ₄	HCO ₃	K	Na	Ca	Mg	Общая минерализация
01.04	14,18	82,30	170,80	2,2	20,0	7,54	47,50	344,5
04.04	3,55	42,38	67,10	1,8	46,0	6,32	25,65	192,8
06.04	17,74	63,37	152,55	2,2	21,5	18,24	44,09	319,7
10.04	21,28	51,85	207,47	2,2	29,5	7,30	56,11	375,7
01.05	28,37	60,08	205,02	2,8	20,5	10,34	51,10	378,2
04.05	28,37	15,22	97,63	1,6	6,5	10,94	23,05	183,2
07.05	28,36	46,51	207,46	2,5	20,0	12,16	48,10	365,1
10.05	17,18	35,40	195,30	2,05	27,0	9,73	38,08	324,7
01.06	21,30	47,73	219,70	2,4	21,5	8,51	52,10	373,2
04.06	11,34	29,21	122,04	1,9	10,05	1,82	30,06	206,4
07.06	14,18	36,62	170,90	2,2	13,0	8,51	42,08	287,5
10.06	17,02	57,61	170,90	1,9	10,5	7,91	39,10	304,9

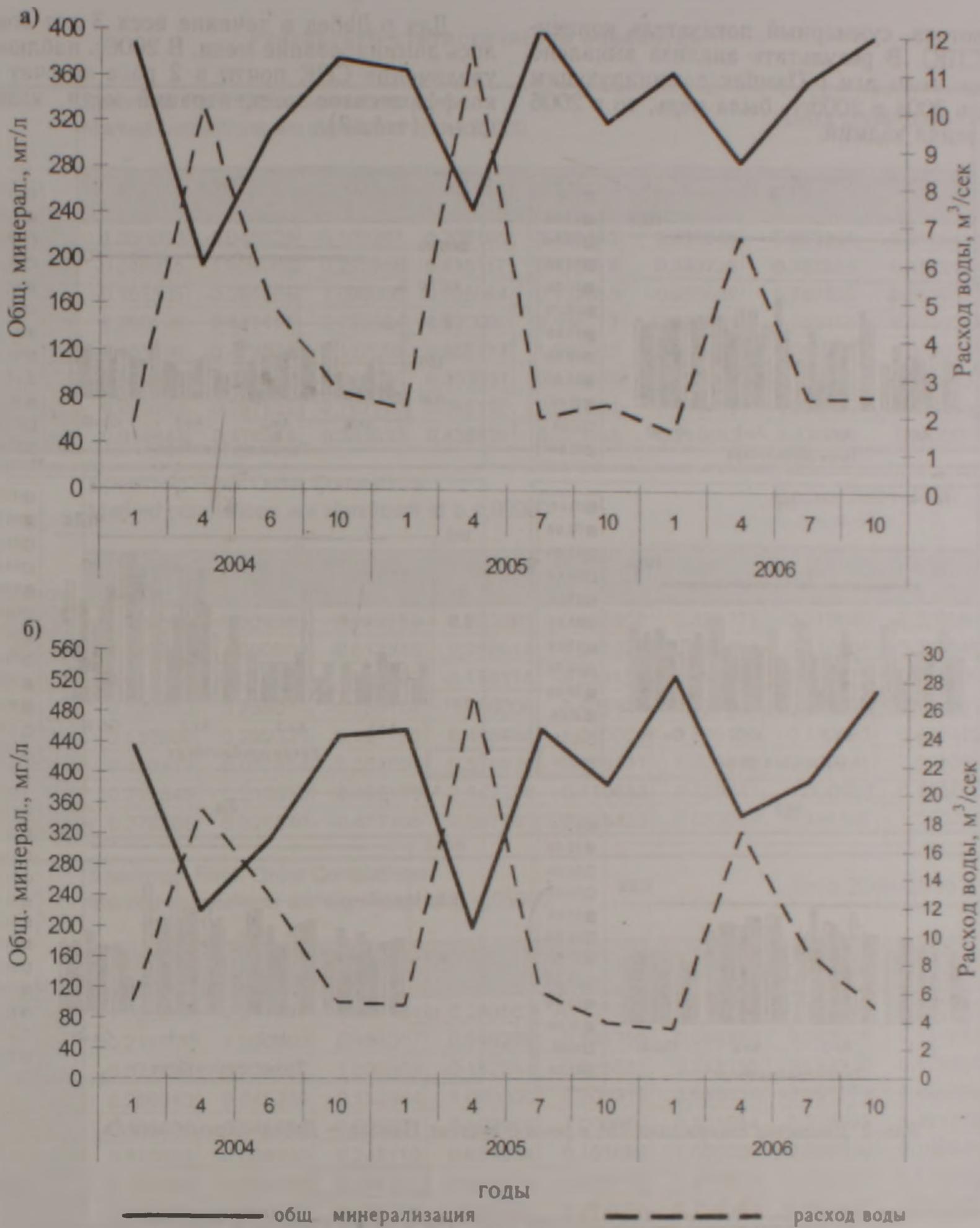


Рис.1. Динамика расхода воды и общей минерализации за 2004-2006гг. в пунктах мониторинга Памбак-Ширакамут (а) и Памбак-Ванадзор (б).

техногенным и геогенным влиянием Алавердского рудного района, среди ведущих промышленных металлов которого присутствуют Cu и Zn (Сагателян, 2004).

Известно, что Mn часто играет роль «ловушки» для других ТМ вследствие своей высокой сорбционной активности, однако при изменении Eh и pH может меняться направление процесса сорбции растворенной фазы на гидроксидах, состав которых определяется, в свою очередь, составом доминирующих пород. (Веницианов, Лепихин, 2002). Этим, вероятно, и обусловлено

сходство в тенденциях динамики содержаний Cu, Mn и Zn. Далее по течению наблюдается снижение их концентраций, что связано с активным процессом сорбции и соосаждения и, соответственно, самоочищения вод (рис.2).

Гидрогеохимическая характеристика вод рек Памбак и Дебед

Исследованы гидрогеохимические особенности содержания ТМ в водах рек. Рассчитаны качественный и количественный ряды геохими-

ческого потока, суммарный показатель концентрации (СПК). В результате анализа выявлено следующее: если для р.Памбак доминирующим металлом в 2004 и 2005гг. была медь, то в 2006 ее место занял кадмий.

Для р.Дебед в течение всех 3 лет сохранялось доминирование меди. В 2006г. наблюдалось увеличение СПК почти в 2 раза за счет роста коэффициентов концентраций меди, кадмия и цинка (табл.3).

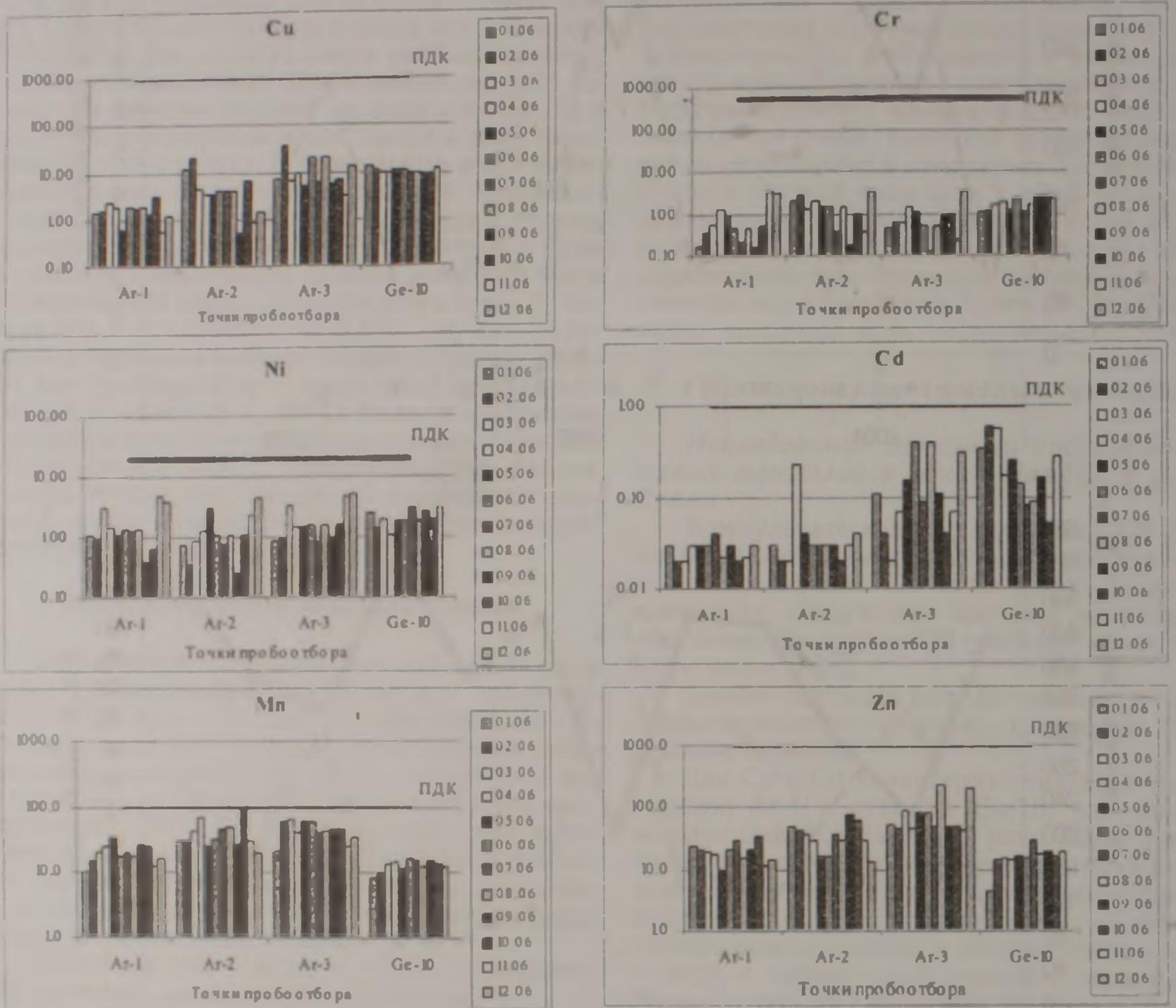


Рис 2. Динамика содержания ТМ в речной системе Памбак – Дебед - Храми, мкг/л.

Таблица 3

Количественные геохимические ряды ТМ в реках Памбак и Дебед

N	Станции мониторинга	Количественные ряды геохимического потока	СПК
2004			
Ст.2	р.Памбак – г.Ванадзор	$Cu_{(2,6)}-Cr_{(2,6)}-Cd_{(2,3)}-Mn_{(1,7)}-Mo_{(1,7)}-Zn_{(1,5)}-Ni_{(1,1)}-Hg_{(0,8)}$	7,3
Ст.3	р.Дебед – с. Айрум	$Cu_{(4,7)}-Cd_{(4,2)}-Zn_{(2,1)}-Mn_{(1,4)}-Ni_{(1,4)}-Cr_{(1,2)}-Hg_{(1)}-Mo_{(0,8)}$	9,8
2005			
Ст.2	р.Памбак – г.Ванадзор	$Cu_{(3,5)}-Ni_{(1,8)}-Cr_{(1,4)}-Mn_{(1,3)}-Hg_{(1,3)}-Zn_{(1,2)}-Mo_{(0,9)}-Cd_{(0,4)}$	6,8
Ст.3	р.Дебед – с. Айрум	$Cu_{(5)}-Zn_{(1,7)}-Mn_{(1,3)}-Ni_{(1,2)}-Cr_{(1,2)}-Mo_{(1,1)}-Hg_{(1,1)}-Cd_{(1)}$	6,6
2006			
Ст.2	р.Памбак – г.Ванадзор	$Cd_{(4,3)}-Cu_{(2,6)}-Mn_{(3,1)}-Zn_{(1,9)}-Cr_{(1,3)}-Mo_{(1,0)}-Hg_{(0,9)}-Ni_{(0,8)}$	7,9
Ст.3	р.Дебед – с. Айрум	$Cu_{(6,5)}-Cd_{(5,5)}-Zn_{(4,1)}-Mn_{(2,1)}-Ni_{(1,1)}-Mo_{(1,0)}-Hg_{(0,9)}-Cr_{(0,9)}$	14,9

*СПК – суммарный показатель концентрации

Результаты статистической обработки

Spearman Rank Order Correlations		Зима 2004-2006						
Marked correlations are significant at $p < .05000$								
Variable	Ag	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Mo
Ag	1.000000	-0.048825	-0.103361	0.206195	0.468690	0.638048	-0.090994	0.014944
Cd	-0.048825	1.000000	-0.255255	0.435117	0.479579	0.353736	-0.397825	0.474216
Zn	-0.103361	-0.255255	1.000000	0.125084	0.122053	-0.055989	0.767520	-0.363033
Cr	0.206195	0.435117	0.125084	1.000000	0.566377	0.303831	0.055110	0.438636
Cu	0.468690	0.479579	0.122053	0.566377	1.000000	0.415488	0.092224	0.303038
Ni	0.638048	0.353736	-0.055989	0.303831	0.415488	1.000000	-0.169419	0.219683
Mn	-0.090994	-0.397825	0.767520	0.055110	0.092224	-0.169419	1.000000	-0.436268
Mo	0.014944	0.474216	-0.363033	0.438636	0.303038	0.219683	-0.436268	1.000000

Spearman Rank Order Correlations		Весна 2004-2006						
Marked correlations are significant at $p < .05000$								
Variable	Ag	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Mo
Ag	1.000000	-0.029363	0.043759	0.302092	0.136800	0.420572	0.213649	-0.278066
Cd	-0.029363	1.000000	-0.012945	0.258014	0.292321	-0.065404	0.210956	0.320846
Zn	0.043759	-0.012945	1.000000	-0.155114	-0.121130	-0.052091	0.425179	-0.477100
Cr	0.302092	0.258014	-0.155114	1.000000	0.408986	0.571030	0.147206	0.207797
Cu	0.136800	0.292321	-0.121130	0.408986	1.000000	0.530131	-0.310633	0.428422
Ni	0.420572	-0.065404	-0.052091	0.571030	0.530131	1.000000	0.100241	0.053069
Mn	0.213649	0.210956	0.425179	0.147206	-0.310633	0.100241	1.000000	-0.451807
Mo	-0.278066	0.320846	-0.477100	0.207797	0.428422	0.053069	-0.451807	1.000000

Spearman Rank Order Correlations		Лето 2004-2006						
Marked correlations are significant at $p < .05000$								
Variable	Ag	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Mo
Ag	1.000000	0.211897	-0.077434	0.289583	-0.105939	0.310598	0.103304	0.090576
Cd	0.211897	1.000000	0.126007	0.046269	0.546708	-0.098390	0.098006	0.319988
Zn	-0.077434	0.126007	1.000000	-0.152344	0.006631	0.248110	0.698230	-0.526998
Cr	0.289583	0.046269	-0.152344	1.000000	0.306919	0.655634	-0.092574	0.496593
Cu	-0.105939	0.546708	0.006631	0.306919	1.000000	0.101684	-0.236593	0.491279
Ni	0.310598	-0.098390	0.248110	0.655634	0.101684	1.000000	0.098939	0.100345
Mn	0.103304	0.098006	0.698230	-0.092574	-0.236593	0.098939	1.000000	-0.611548
Mo	0.090576	0.319988	-0.526998	0.496593	0.491279	0.100345	-0.611548	1.000000

Spearman Rank Order Correlations		Осень 2004-2006						
Marked correlations are significant at $p < .05000$								
Variable	Ag	Cd	Zn	Cr	Cu	Ni	Mn	Mo
Ag	1.000000	-0.031550	-0.360693	0.279966	0.211729	0.445981	-0.490548	
Cd	-0.031550	1.000000	-0.161521	0.018090	0.441703	0.045343	-0.319223	
Zn	-0.360693	-0.161521	1.000000	-0.379475	-0.261239	-0.321258	0.692001	
Cr	0.279966	0.018090	-0.379475	1.000000	0.498325	0.476215	-0.206686	
Cu	0.211729	0.441703	-0.261239	0.498325	1.000000	0.392830	-0.246649	
Ni	0.445981	0.045343	-0.321258	0.476215	0.392830	1.000000	-0.052296	
Mn	-0.490548	-0.319223	0.692001	-0.206686	-0.246649	-0.052296	1.000000	

Рис 3. Расчет корреляционной связи, Спирмана R, для тяжелых металлов в водах речной системы Памбак-Дебед-Храми.

Результаты статистической обработки данных показали следующее.

Для системы рек Памбак-Дебед-Храми установлена положительная корреляция между концентрациями Mn и Zn, Cr и Ni. Корреляционная зависимость между Mn и Zn характерна для зимнего, летнего и осеннего сезонов и может быть обоснована высокой сорбционной способностью Mn по отношению к Zn. Cr и Ni коррелируют в весенний период, что, по всей вероятности, связано со смывом из пород и почв и проявлением схожих свойств принадлежности к сидерофильной группе ТМ (рис.3).

Была также проведена оценка по общесанитарным показателям уровня загрязнения рек ТМ-ами. Согласно полученным результатам величины всех исследованных ТМ не превышают ПДК (Accepted Maximal, 2003).

Заключение

Резюмируя приведенные данные, можно сделать следующее заключение.

В настоящее время воды исследованных рек характеризуются как преимущественно гидрокарбонатные. По уровню содержания Ca и Mg воды рек характеризуются как *мягкие*.

В реках обнаружены ТМ, содержания которых не превышают предельно допустимые концентрации, тем самым указывая на отсутствие сильного загрязнения вод.

В ходе оценки гидрогеохимического состояния вод рек установлены доминирующие металлы, коими являются Cu и Cd. Выявлена положительная корреляционная зависимость между содержанием Mn и Zn, характерная периоду относительно стабильного гидродинамического перемешивания вод.

Таким образом, существенную роль в формировании качества вод в настоящее время играют геогенные факторы рудных районов и эксплуатация рудных месторождений. Они способствуют

обогащению вод рек металлами, характерными природному геохимическому ландшафту водосборных бассейнов.

ЛИТЕРАТУРА

- Веницианов Е.В., Лепихин А.П. Физико-химические основы моделирования миграции и трансформации тяжелых металлов в природных водах. Екатеринбург, 2002, 235 с.
- Корюхина Т.А., Чурбанова И.Н. Химия воды и микробиология. М.: Стройиздат, 1983, с.78-79, 82-83.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Под ред. д-ра хим. наук, проф. А.Д. Семенова. Л.: Гидрометиздат, 1977, 534 с.
- Сагателян А.К. Особенности распределения тяжелых металлов на территории Армении. Ереван, 2004, 156 с.
- Стандартные операционные процедуры отбора, консервации и хранения проб вод рек. ИСО-5667-1, ИСО-5667-2, ИСО-5667-3. Руководство по методике отбора проб: Guidance on sampling technics. Guidance on the preservation and handling samples. 1998, pp.11-43.
- Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Стандартные операционные процедуры определения основных ионов и биогенных элементов в поверхностных водах. ИСО-6878, ИСО-9297, ИСО-7150-1, ИСО-7890-3, ИСО-6777, ИСО-9963-1, ИСО-9964-3, 6058, 6059, 9280. М.: Изд. «Протектор», 2000, с.268-272, 290-295, 350-360, 387-394.
- Фомин Г.С. Вода. Контроль химической, бактериальной и радиационной безопасности по международным стандартам. Стандартные операционные процедуры определения тяжелых металлов в поверхностных водах. ИСО-8288, ИСО-9174, ИСО-5961. М.: Изд. «Протектор», 2000, с.213-229, 282-240, 335-347, 363-366, 371-380, 385-387.
- Accepted Maximal Allowable Concentration (MAC) for chemical substances in water of water objects used for economic, drinking, cultural and household purposes (ГН 2.1.5.1315-03, от 30.04.2003, Россия (in Russian)).

Рецензенты А.Л.Ананян и Г.В.Шагинян

**ՋՈՒՌ-ԱՐԱՔՍԻ ԱՎԱԶԱՆԻ ԱՆԴՐՍԱՀԱՄԱՅԻՆ
ԳԵՏԵՐԻ ՋՐԵՐԻ ՈՐԱԿԻ ԳՆԱՀԱՏՈՒՄԸ
(ՓԱՄԲԱԿ-ԴԵԲԵԴ-ԽՐԱՄԻ ԳԵՏԱՅԻՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳԻ ՕՐԻՆԱԿՈՎ)**

Ա. Սաղաթեյան, Ն. Կեկելիձե, Մ. Նալբանդյան, Մ. Միքաելյան

Ա մ փ ո փ ու մ

Հետազոտությունների համալիր գնահատականը թույլ է տվել հանգել մի շարք եզրակացությունների, որոնցից անհրաժեշտ է կարևորել հետևյալները. ա) գետերի ջրերում հայտնաբերվել են ծանր մետաղներ, որոնց պարունակությունները չեն գերազանցում սահմանային թույլատրելի խտությունները, ինչը վկայում է մետաղներով խիստ աղտոտվածության բացակայության մասին, բ) ներկայումս ջրի որակի ձևավորման մեջ մեծ դեր են խաղում շահագործվող հանքավայրերը և հանքերով հարուստ շրջանները, որոնք նպաստում են գետերի ջրերի հարստացմանը բնական երկրաքիմիական լանդշաֆտներին բնորոշ մետաղներով:

**ASSESSING THE QUALITY OF TRANSBOUNDARY RIVERS WATER
OF THE KURA-ARAKS BASIN
(ON AN EXAMPLE OF PAMBAK-DEBED-KHRAMI RIVER SYSTEM)**

A. Saghatelyan, N. Kekelidze, M. Nalbandyan, M. Mikaelyan

Abstract

The research goal was to complexly assess the quality of waters one of transboundary rivers of the South Caucasus. Primary material were data on monthly monitoring obtained between 2004 and 2006 in the frame of an international NATO/OSCE project N977991 "South Caucasus River Monitoring". As a result of the research, a general characteristic of waters was given on basic ions. The impact sources and the factors of river water quality formation were revealed. The dynamics of heavy metal contents was studied. The level of river water pollution with heavy metals was assessed. As a result of the statistical analysis correlation between heavy metals was revealed.