

ГИДРОЛОГИЯ

УДК 551.48(479.24)

М.А. Абдуев**ЖЕСТКОСТЬ РЕЧНЫХ ВОД АЗЕРБАЙДЖАНА**

Для изучения жесткости речных вод был выбран период 1950–2010 гг. Выявлена прямая зависимость между минерализацией и общей жесткостью. Полученные связи могут быть использованы для расчета общей жесткости неизученных рек исследуемой территории.

Ключевые слова: жесткость воды; общая жесткость; качество воды; химический сток; устранимая жесткость

Введение

В наши дни во всем мире растет интерес к проблемам водных ресурсов. Особую остроту эти проблемы приобретают для засушливых территорий, к числу которых относится Азербайджанская Республика. Источниками водных ресурсов обычно являются поверхностные и подземные воды данной страны. При этом равномерное распределение источников водных ресурсов, как правило, зависит от географического положения территории.

Поверхностными источниками водных ресурсов являются реки, озера, ледники и болота. Подземные водные ресурсы могут быть гидравлически связанными и не связанными с поверхностными источниками. По водности и значимости источники водных ресурсов могут быть главными и вспомогательными. В условиях Азербайджанской Республики к главным источникам относятся реки, а к вспомогательным – подземные воды, озера, ледники и болота.

Речная сеть республики насчитывает более 8350 рек [10]. Подавляющее большинство рек (8295) являются малыми – длиной менее 50 км. Водные ресурсы этих рек – ценнейшее природное богатство. Тщательное изучение гидрохимических особенностей этих рек позволит рационально использовать их в интересах хозяйства, в частности, для водоснабжения населения, сельского хозяйства, промышленности, энергетики и др.

Качество речных вод в настоящее время тесно связано с деятельностью человека. Определяющим фактором изменения качества воды являются промышленные и коммунально-бытовые сточные воды, сбрасываемые в реки, а также сельскохозяйственный сток с полей и животноводческих комплексов.

Степень жесткости вод является одним из определяющих признаков пригодности воды для использования ее в различных целях. Характеристика жесткости речных вод Азербайджана для теплого времени года (июнь–август) имеет наибольший научный и практический интерес. В это время питание рек происходит почти исключительно за счет подземных вод, а жесткость воды достигает своего максимума. В связи с тем, что в этот период реки наиболее интенсивно используются для орошения сельскохозяйственных культур, правильное представление о жесткости речных вод имеет большое народно-хозяйственное значение.

Обсуждение результатов

Жесткостью называется свойство воды, обусловленное наличием в ней растворимых соединений Ca^{2+} и Mg^{2+} . Рассматривают три типа жесткости воды [2]:

- 1) общая жесткость, обусловленная наличием Ca^{2+} и Mg^{2+} ; равна сумме $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ мг-экв;
- 2) устранимая жесткость, которая учитывает соотношение между количеством Ca^{2+} и Mg^{2+} мг-экв и количеством HCO_3^- мг-экв (карбонатная жесткость). При расчете устранимой жесткости рассматриваются два случая: а) если $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \leq \text{HCO}_3^-$, то устранимая жесткость равна общей; б) если $(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) > \text{HCO}_3^-$, то устранимая жесткость эквивалентна содержанию иона HCO_3^- мг-экв;
- 3) постоянная жесткость, определяемая разностью между общей и устранимой жесткостью.

Обычно по величинам жесткости различают следующие градации природных вод (табл. 1).

© Абдуев М.А., 2013

Абдуев Магамед Абду оглы, кандидат географических наук, доцент Института Географии Национальной Академии Наук Азербайджана; AZ1143, Азербайджан, г. Баку, пр-т Г. Джавида, 31; abduyevm@gmail.com

Таблица 1

Градации природных вод по жесткости

Вид воды	Общая жесткость, мг-экв
Очень мягкая	До 1,5
Мягкая	1,5–3,0
Умеренно жесткая	3,0–6,0
Жесткая	6,0–9,0
Очень жесткая	>9,0

Эти градации были положены в основу составленной О.И. Микеем [7] схематической карты жесткости речных вод бывшего СССР. За основу этой карты он принял данные для теплой части года, исключая периоды паводков и половодья. Автор обосновывал это тем, что взятый период является более продолжительным и значительное количество анализов относится именно к этому времени.

Следует отметить, что территория Азербайджана на карте О.И.Микеева представлена весьма схематично, так как она составлена по данным наблюдений 33 пунктов, включающих по одному анализу с 1941 по 1944 г. При этом не выдержан до конца принятый им же принцип выбора анализов за теплую часть года.

Приняв за основу данные о жесткости воды теплой части года по 1955 г. включительно (по среднеарифметическим их значениям), построена карта жесткости речных вод Азербайджана С.Г.Рустамовым [9].

В монографии «Ресурсы поверхностных вод СССР» [8] представлена связь между минерализацией воды и общей жесткостью речных вод Восточного Закавказья, которую можно выразить уравнением вида

$$H_{общ} = 0,03 \sum_{и} ,$$

где $H_{общ}$ – общая жесткость, мг-экв/л; $\sum_{и}$ – сумма ионов, мг/л.

В отмеченных выше работах освещены только некоторые аспекты жесткости речных вод, детальное изучение жесткости речных вод Азербайджана не проводилось.

В выполненной нами работе использованы материалы гидрохимических бюллетеней и ежегодные данные о качестве поверхностных вод Азербайджана [4;5].

Речные воды обычно обладают небольшой жесткостью. В Азербайджане распространены все градации жесткости. Прежде всего, обращает на себя внимание наличие определенной закономерности изменения общей жесткости с высотой местности. По всей территории общая жесткость речных вод с высотой уменьшается (рис.1).

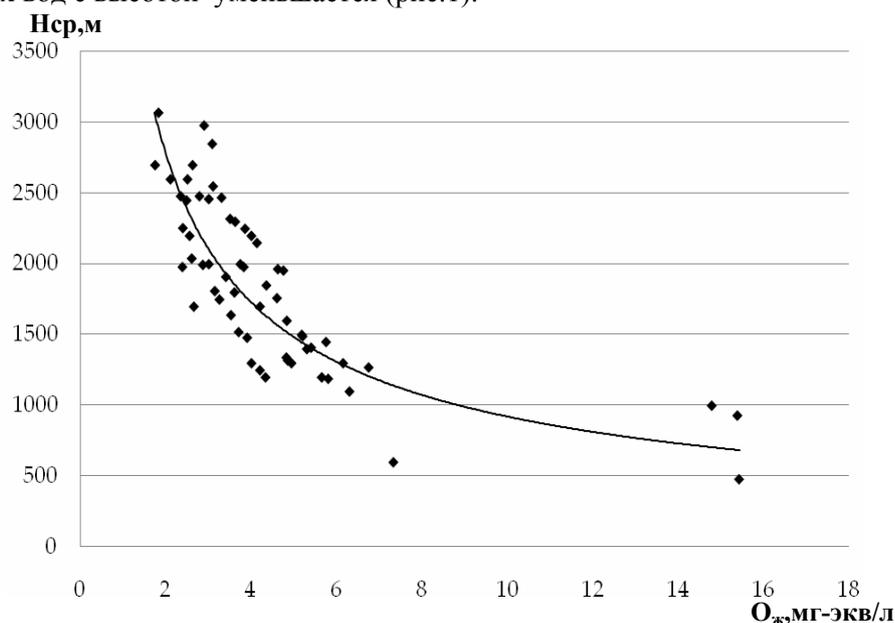


Рис. 1. Связь между средней высотой водосбора ($H_{ср}$, м) и общей жесткостью воды ($O_{ж}$, мг-экв/л) для рек Азербайджана

В зависимости от почвенно-геологических условий и водного режима рек это изменение носит неодинаковый характер. Для северо-восточного склона Главного Кавказского хребта очень мягкие воды (до 1,5 мг-экв) встречаются на высоте более 3000 м, на южном склоне этого же хребта – на высоте свыше 2000 м, а на Малом Кавказе – на высоте свыше 2500 м.

Имеющиеся в настоящее время данные позволяют получить более правильное представление о распределении жесткости речных вод. Для изучения жесткости речных вод был выбран период 1950–2010 гг. Для анализа изменения жесткости речных вод за указанный период использовались данные 124 пунктов с периодами наблюдений 25–40 лет. Эти пункты относительно равномерно распределены по территории Азербайджана и расположены на основных реках Республики. Результаты подсчета, выполненного для характерных рек, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фактическая (O_f) и вычисленная (O_v) жесткость речных вод Азербайджана

Река – пункт	Среднемноголетние значения минерализации, C , мг/л	O_f , мг-экв/л	O_v , мг-экв/л	Отклонение, %	Устранимая жесткость, мг-экв/л	Постоянная жесткость, мг-экв/л
Кусарчай-с. Кузун	310,5	3,09	3,42	+11	2,26	0,83
Куручай-с. Сусай	287,8	3,38	3,17	-6	2,88	0,50
Кудиалчай-с. Кюпчал	332,6	3,99	3,66	-8	2,78	1,21
Хыналыгчай-с. Хыналыг	323,2	3,70	3,56	-4	2,35	1,35
Агчай-с. Джек	277,0	3,03	3,05	0	2,39	0,64
Карачай-с.Рюк	327,1	3,81	3,60	-6	2,79	1,02
Чагаджукчай-с. Рустов	356,0	3,56	3,92	+10	2,84	0,72
Вельвеличай-с.Тенгялты	378,4	4,15	4,16	0	2,87	1,28
Хармидорчай-с. Халтан	395,0	3,81	4,35	+14	3,02	0,79
Шабранчай-с. Зейва	330,7	4,13	3,64	-12	2,83	1,30
Сумгаитчай-п. Перекишкюль	820	9,60	7,38	-23	1,79	7,81
Джейранкечмаз-п. Сангачал	1740	14,95	15,66	+5	6,41	8,54
Пирсагатчай-Шосс. мость	831	9,37	7,48	-20	2,47	6,90
Зоголавачай-с. Мейсары	920	9,80	8,28	-16	2,38	7,42
Белоканчай-г.Белокан	398	3,53	4,38	+24	1,71	1,83
Катехчай-с. Кабиздара	252	2,35	2,77	+18	1,0	1,35
Талачай-г.Загатала	303	3,15	3,33	+6	3,13	0,02
Курмухчай-с.Илису	344	3,77	3,78	0	2,47	1,30
Кунахайсу-с. Сарыбаш	264	2,76	2,90	+5	1,97	0,79
Агричай-близ устья	505	5,55	5,55	0	3,31	2,25
Дамарчиг-близ устья	367	4,02	4,04	0	2,79	1,23

Продолжение табл. 2

Река – пункт	Среднемноголетние значения минерализации, С, мг/л	$O_{ф}$, мг-экв/л	$O_{в}$, мг-экв/л	Отклонение, %	Устранимая жесткость, мг-экв/л	Постоянная жесткость, мг-экв/л
Чухадурмаз-устья	320	3,52	3,52	0	2,57	0,95
Кайнар-близ устья	376	4,21	4,14	-2	2,82	1,39
Алиджанчай-с. Ханабад	873	9,50	9,60	+1	5,76	3,74
Турянчай-с.Савалан	543	5,43	5,97	+10	3,60	1,83
Дамирапаранчай-г. Габала	231	2,39	2,54	+6	1,65	0,74
Геокчай-г. Геокчай	583	5,70	6,20	+12	3,70	2,00
Ахохчай-с. Ханагя	340	3,64	3,74	+2	2,56	1,07
Гирдиманчай-с. Караноур	441,7	5,32	4,86	-9	2,53	2,79
Ахсучай-г. Ахсу	597	5,66	6,54	+16	2,76	2,9
Актафачай-п. Красный мост	658,6	6,12	5,93	-3	3,17	2,95
Таузчай-п. Берд	687,0	5,19	6,18	+19	3,62	1,57
Зегамчай-с. Агбашлар	318,0	3,32	3,50	+5	2,92	0,40
Джигирчай-с. Джигир	334,0	3,93	3,67	-7	3,05	0,88
Шамкирчай-с. Верх. Чайкенд	317,0	3,52	3,49	-1	3,14	0,38
Кошкарчай-г. Дашкесан	554,6	5,27	4,99	-5	3,49	1,78
Гянджачай-с. Зурнабад	299,3	3,10	3,29	+6	2,39	0,71
Зивланчай-с. Суговушан	216,2	2,37	2,38	0	2,10	0,28
Дястяфурчай-Гарагуллар	228,8	2,58	2,52	-2	1,75	0,83
Дастафюрчай-с. Дастафюр	273,0	2,96	3,00	+1	1,90	1,06
Кюракчай-с. Дозулар	301,1	3,31	3,31	0	2,40	0,91
Геранчай-с. Агджакенд	245,4	3,05	2,70	-12	1,86	1,19
Тертерчай-п. Кельбаджар	305,3	3,20	3,36	+5	2,37	0,83
Левчай-с. Камышлы	305,0	3,08	3,36	+9	2,57	0,51
Тутхун-близ устья	355,0	4,17	3,91	-6	3,93	0,24
Хачынчай-с. Ванкуду	318,4	3,12	3,50	+12	2,99	0,13
Каркарчай-мост Агакерпи	504,0	4,68	5,54	+18	2,18	2,50
Охчучай-г. Кафан	734,6	6,46	6,61	+2	3,82	2,64

Окончание табл. 2

Река – пункт	Среднегодовое значение минерализации, С, мг/л	$O_{ф}$, мг-экв/л	$O_{в}$, мг-экв/л	Отклонение, %	Устранимая жесткость, мг-экв/л	Постоянная жесткость, мг-экв/л
Базарчай-с. Эйвазлар	297,0	3,14	3,27	+4	2,66	0,48
Акерачай-п. Лачын	304,0	3,21	3,34	+4	2,66	0,55
Забухчай-с. Забух	293,8	3,44	3,23	-6	3,33	0,11
Куручай-с. Туг	331,8	3,96	3,65	-8	3,91	0,05
Кендаланчай-п. Кр.Базар	482,9	4,86	5,31	+9	3,56	1,30
Арпачай-с. Арени	308	3,33	3,39	+2	2,61	0,72
Нахчыванчай-Биченак	229	2,03	2,52	+24	1,88	0,15
Нахичеванчай -с. Карабаба	258,3	2,54	2,84	+12	2,19	0,35
Джагричай-с. Паиз	354	3,75	3,89	+4	2,98	0,77
Алинджачай-с. Арафса	283,4	3,05	3,12	+2	2,99	0,06
Гиланчай-с. Нургут	205	2,03	2,26	+11	2,01	0,02
Парагачай-с. Билав	204	2,15	2,24	+4	1,56	0,65
Ванандчай-с. Данагирт	265	2,77	2,92	+5	2,43	0,34
Ордубадчай-с. Нюснюс	227	2,80	2,50	-11	1,69	1,11
Насирвазчай-с. Бист	215	2,52	2,37	+6	2,07	0,45
Насирвазчай-с. Насирваз	159	1,54	1,45	-6	1,39	0,15
Виляшчай-с. Текдам	505	5,55	4,70	-15	2,60	2,1
Виляшчай-с. Шихлар	531	5,89	5,84	-1	2,66	3,23
Маталачай-с. Халфалар	425	4,15	4,68	+12	3,96	0,19
Ленкоранчай-с. Сифидор	316	3,46	3,47	0	2,91	0,55
Ленкоранчай-г. Ленкоран	365	3,90	3,90	0	2,50	1,40
Вашарю-с. Даштатюк	377	3,75	4,15	+11	2,99	0,76
Тангарю-с. Ваго	362	3,69	3,96	+7	2,66	1,03
Диго-с. Поликеш	220	2,40	2,40	0	2,02	0,38
Истисучай-с. Алаша	1265	14,85	13,92	-6	9,22	5,63

Исследованиями [1;10] установлено, что жесткость вод рек Азербайджана изменяется в соответствии с их водным режимом и характером питания. Как известно, минерализация до некоторой степени является показателем жесткости воды. С изменением величины первого изменяется и значение второго элемента.

Исследования [2;6] показывают, что существует зависимость между жесткостью и общей минерализацией. Такая зависимость получена нами для рек Малого Кавказа [1]. Анализ имеющихся данных показывает, что с увеличением величины минерализации (С) увеличивается и общая жесткость ($O_{ж}$). Нами выявлена на логарифмической сетке прямая зависимость между минерализацией и общей жесткостью (рис.2).

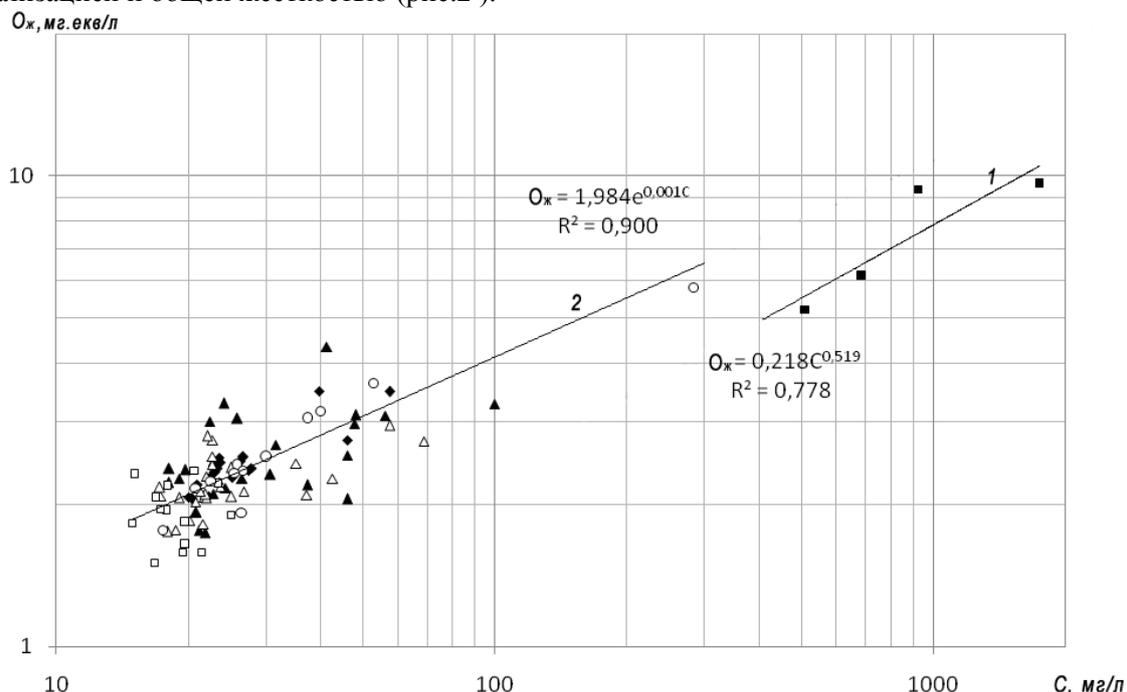


Рис. 2. Связь между минерализацией (С, мг/л) и общей жесткостью воды ($O_{ж}$, мг-экв/л) для рек Азербайджана у рек: \blacklozenge – северо-восточного склона Большого Кавказа; \blacktriangle – южного склона Большого Кавказа; \square – Нахичеванской АР; \circ – Ленкоранской природной области; \blacksquare – Апшерон-Гобустанских и транзитных; \triangle – Малого Кавказа

Целесообразно указанную связь выразить в виде двух уравнений. Первое характеризует бассейны трансграничных рек (Акстафачай, Таузчай, Охчучай, Ганых и Габырры) и Апшерон-Гобустанских рек (1), а второе характеризует бассейны остальных рек республики (2):

$$O_{ж} = 0,218e^{0,519C}, \quad (1)$$

$$O_{ж} = 1,984e^{0,001C}. \quad (2)$$

Минерализация и общая жесткость транзитных и Апшерон-Гобустанских рек более чем в 2 раза выше по сравнению с другими реками. Поэтому точки, характеризующие эти реки, отклоняются от линии и образуют отдельную группу. Результаты расчетов показывают, что отклонения вычисленных значений общей жесткости от фактических вполне допустимы. В 89 случаях ошибка расчета составляет менее $\pm 15\%$, а в 35 случаях – более $\pm 16\%$. Поэтому рекомендуемые связи могут быть использованы для расчета общей жесткости неизученных рек исследуемой территории. Кроме общей жесткости речной воды также были рассчитаны устранимая и постоянная жесткость (табл. 2). Известно, что устранимая жесткость учитывает соотношение между количеством Ca^{2+} и Mg^{2+} мг-экв и количеством HCO_3^- мг-экв (карбонатная жесткость). Наше исследование показывает, что на всех изученных реках $Ca^{2+} + Mg^{2+} > HCO_3^-$. Таким образом, устранимая жесткость эквивалентна содержанию иона HCO_3^- мг-экв. Значения устранимой жесткости изменяются от 1,0 мг-экв/л до 9,22 мг-экв/л. Максимальное её значение наблюдается на р. Истисучай, а минимальное – на р. Катехчай.

Постоянная жесткость, определяемая, разностью между общей и устранимой жесткостью, изменяется на территории Республики в пределах от 0,02 мг-экв/л (реки Талачай и Гиланчай) до 8,54 мг-экв/л (р. Джейранкечмаз).

Анализ данных таблицы показывает, что в большинстве районов жесткость речных вод не изменяется в большом диапазоне. За исключением рек Апшерон-Гобустанского района, в области Большого Кавказа общая жесткость речных вод изменяется от 2,35 мг-экв/л до 9,5 мг-экв/л. В

большинстве речных вод северо-восточного склона Большого Кавказа общая жесткость составляет 3-4 мг-экв/л, что соответствует умеренно жесткой воде.

На территории Азербайджана самое большое значение общей жесткости наблюдается в Абшерон-Гобустанских реках. Если общая жесткость в р. Пирсагатчай равна 9,37 мг-экв/л, то в р. Джейранкечмаз она составляет 14,95 мг-экв/л, поэтому здесь вода становится очень жесткой. В зависимости от геологического строения водосборов рек и почвенно-растительных и климатических условий наблюдается большое разнообразие в изменении жесткости. Абшерон-Гобустанской район сложен неогеновыми и палеогеновыми отложениями. В их составе преобладают глины, но местами значительно распространены также песчаники, известняки и отчасти конгломераты [3]. Исходя из почвенно-геологических и климатических условий (малое количество осадков, высокая температура воздуха) реки Апшерон-Гобустанского района отличаются очень жесткими водами (более 9 мг-экв/л). На южном склоне Большого Кавказа общая жесткость речных вод изменяется от 2,35 мг-экв/л (р. Катехчай) до 9,5 мг-экв/л (р. Алиджанчай). В западной части южного склона жесткость речной воды по сравнению с Ширванскими реками относительно низкая. За редким исключением общая жесткость вод от р. Катехчай до р. Алиджанчай увеличивается. Среди рек южного склона самое маленькое значение жесткости имеет р. Катехчай, что связано преимущественно с лесистостью бассейна (82%) и меньшей минерализацией.

В Ширванских реках соответственно минерализация жесткости воды возрастает от истока к устью и с запада на восток. У рек (Дамирапаранчай, Бумчай, Галачай, Вандамчай и Тиканлычай), средняя высота водосборов которых свыше 2000 м, жесткость изменяется от 2,39 мг-экв/л до 3,42 мг-экв/л, и поэтому воды этих рек становятся мягкими. У рек (Алиджанчай, Турянчай, Геокчай, Агричай, Ахоччай, Гирдыманчай и Ахсучай), средняя высота водосбора которых ниже 2000 м, общая жесткость изменяется от 3,54 до 9,5 мг-экв/л, и поэтому в их устьях в теплое время года вода становится жесткой или очень жесткой.

Кроме транзитных (Актафачай, Таузчай, Охчучай, Габырры), в остальных реках общая жесткость равна 2,37-4,87 мг-экв/л, что соответствует мягкой или умеренно жесткой воде. В области Большого Кавказа жесткость на северо-восточном склоне увеличивается с севера на юг, а на южном склоне – с запада на восток. На Малом же Кавказе увеличение жесткости проявляется только в одном направлении: от истока к устью.

Транзитные реки Актафачай, Таузчай и Охчучай, по сравнению с соседними реками, отличаются большими значениями общей жесткости. Во время летней межени в этих реках (особенно в р. Охчучай) жесткость, резко увеличиваясь, иногда достигает 70 мг-экв/л, вследствие чего река становится коллектором.

Общая жесткость Нахичеванских рек изменяется от 1,54 до 3,75 мг-экв/л. Отметим, что в республике самое маленькое значение жесткости наблюдается на высоте свыше 2500 м в пределах Нахичеванской АР. Примером могут служить реки Насирвазчай (1,54 мг-экв/л) и Парагачай (1,88 мг-экв/л). Большое значение общей жесткости в Нахичеванской АР наблюдается в р. Джагричай (3,75 мг-экв/л).

Как и в других регионах Республики, в Ленкоранской природной области жесткость воды увеличивается от истока до устья рек. Наряду с этим при более высокой антропогенной нагрузке региона жесткость воды рек изменяется в больших пределах. Следует отметить, что здесь относительно небольшое значение жесткости воды наблюдается в р. Виляшчай (2,74 мг-экв/л) со средней высотой 1610 м, а большое значение жесткости – в р. Истисучай (14,85 мг-экв/л).

Выводы

В целом, речные воды республики отвечают требованиям хорошей и удовлетворительной питьевой воды и пригодны для орошения сельскохозяйственных культур. Исключение составляют нижние течения рек, протекающих по Гобустану (Сумгаитчай, Джейранкечмез, Пирсагатчай и др.), Гирдыманчай, Виляшчай и Истисучай. Воды этих рек в периоды летних месяцев становятся малопригодными, а в отдельные дни вовсе непригодными для питья.

Проблема охраны качества вод до настоящего времени окончательно не разрешена и продолжающееся загрязнение может сделать реки непригодными не только для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования, но и для ирригации.

Библиографический список

1. *Абдуев М.А.* Жесткость речных вод Малого Кавказа // Труды Азербайджанского Географического общества. Т. X. Баку, 2006. С. 448–452 (на азерб. языке).
2. *Алекин О.А.* Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
3. *Геология Азербайджана. Т. VIII.* Гидрогеология и инженерная геология. Баку, 2008. 379 с.
4. *Гидрохимический бюллетень ГГМ по окружающей среде.* 1995–2010 гг. Баку, 2010.
5. *Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Ч. 1. Реки.* Баку, 1980–1994.
6. *Лучишева Л.Л.* Практическая гидрометрия. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 423 с.
7. *Микей Н.И.* Характеристика общей жесткости речной воды на территории СССР. Труды ГГИ, вып. 17, 1949. 49 с.
8. *Ресурсы поверхностных вод СССР.* Л.: Гидрометеиздат, 1971. Т. 9. Вып. 4. 227 с.
9. *Рустамов С.Г.* Гидрохимический режим рек Азербайджана // Изв. АН Азерб. ССР. Серия. Геолого-географические науки. 1958. №5. С. 115–127.
10. *Рустамов С.Г., Кашкай Р.М.* Водные ресурсы Азербайджанской ССР. Баку: Элм, 1989. 180 с.

М.А. Abduev

THE HARDNESS OF RIVER WATERS IN AZERBAIJAN

To study the hardness of river waters the period from 1950 to 2010 was selected. A direct relationship between mineralization and total hardness was revealed. The resulting relationships can be used to calculate the total hardness of unexplored rivers of the studied area.

К e y w o r d s : water hardness; total hardness; water quality; chemical runoff; disposable stiffness.

Abduev Mahammad Abdu, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor of Institute of Geography of the National Academy of Sciences of Azerbaijan; AZ1143, Azerbaijan, Baku, H. Javid Avenue 31; abduyevm@gmail.com

УДК 532.57

Д.Е. Клименко

**К ВОПРОСУ О ЕДИНСТВЕ МЕТОДОВ ГРАДУИРОВКИ ГИДРОМЕТРИЧЕСКИХ
ВЕРТУШЕК В ОБЛАСТИ МАЛЫХ СКОРОСТЕЙ**

Измерение малых скоростей течения является ответственной задачей при учете минимального стока рек. Модернизация наблюдательной сети Росгидромета и смена методики градуировки гидрометрических вертушек обусловили ряд спорных вопросов в отношении качества результатов поверки и сопоставимости методик. Массовое внедрение приборов, поверенных по новой методике, может вести к неоднородностям многолетних рядов характеристик минимального стока. Приводятся результаты опытных испытаний гидрометрической вертушки в различных поверительных устройствах и сравнительного анализа опытов; рассматриваются причины завышений показаний прибора в области малых скоростей.

К л ю ч е в ы е с л о в а : гидрометрическая вертушка; индивидуальная функция преобразования (ИФП); малые скорости течения жидкостей; тарировочная кривая.

© Клименко Д.Е., 2013

Дмитрий Евгеньевич Клименко, кандидат географических наук, доцент кафедры гидрологии и охраны водных ресурсов Пермского государственного национального исследовательского университета; 614990, г. Пермь, ул. Букирева, 15; klimenkodi@rambler.ru