
УДК 551.48(479.24)

Доктор геогр. наук М.А. Абдуев *

**ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РЕЧНЫХ ВОД И
ИХ СОЛЕВОГО СТОКА (НА ПРИМЕРЕ ГОРНЫХ РЕК
АЗЕРБАЙДЖАНА)**

РАСТВОРЕННЫЕ СОЛИ, КАТИОНЫ, АНИОНЫ

В статье проанализирован химический состав речных вод Азербайджана и определен состав и количество растворенных солей. Выявлено, что в водах рек преобладают семь различных солей: гидрокарбонаты кальция и магния, сульфаты кальция, натрия и магния, хлористые натрия и магния. Произведена оценка выноса реками Азербайджана растворенных солей.

Введение

Рациональное использование вод рек возможно при постоянном учете не только их количественных показателей, но и качественного состава, который весьма динамичен в условиях интенсивного антропогенного воздействия. Качество воды, используемой в хозяйстве, имеет особое значение в условиях Азербайджана, где испаряемость в большинстве районов превышает норму осадков в 2 раза и более, что приводит к соле-накоплению и осолонению почв. Поэтому оценка качества вод по химическому составу является важнейшей задачей.

Химический состав речных вод Азербайджана неодинаков, что связано с разнообразными условиями их формирования. Здесь важное значение имеют физико-географическое положение, морфометрия и морфология, состав растворенных веществ в притоках, общая антропогенная нагрузка на водные объекты и др.

О.А. Алекиным [4] все природные воды по преобладанию анионов делятся на три класса: гидрокарбонатный, сульфатный и хлоридный. Каждый класс по эквивалентному преобладанию катионов делится на три группы: кальциевую, натриевую и магниевую.

Исследование С.Г. Рустамова и Р.М. Кашкай [6] показывает, что в речных водах Азербайджана распространены все три класса вод.

* Институт географии им. акад. Г. Алиева НАНА, Баку, Азербайджан

Гидрокарбонатные воды преимущественно кальциевой группы характерны для рек почти всего бассейна Куры и Араза, а также для бассейнов рек северо-восточного Азербайджана.

Сульфатные воды преимущественно натриевой группы характерны для рек южного склона Большого Кавказа (междуречье рр. Белоканчай – Катехчай) и юго-восточной части Большого Кавказа (междуречье рр. Гирдыманчай – Атачай).

Хлоридные воды, относящиеся также к натриевой группе, характерны для незначительной площади республики, главным образом, для северо-восточной части Ленкоранской природной области (р. Виляшчай и плавни) и среднего течения р. Астарачай.

Проведенное нами исследование [1] показывает, что воды 87 % рек Азербайджана относятся к гидрокарбонатному, около 10 % к сульфатному, а более 3% к хлоридному классам.

Речные воды предгорно-горной зоны характеризуются невысокой минерализацией с преобладанием в ионном составе кальция и гидрокарбонатов. Среднемноголетняя минерализация их вод колеблется в пределах 160...400 мг/дм³. Внутригодовые величины минерализации здесь антибатны величине стока. В соответствии с этим минимальная минерализация воды (160...390 мг/дм³) наблюдается в весеннее половодье (апрель – июнь). К лету минерализация воды достигает максимальных значений и составляет 265...500 мг/дм³.

В формировании химического состава речных вод предгорно-горной зоны превалирующую роль играют природные факторы, а для речных вод равнинной зоны существенную роль приобретают антропогенные факторы за счет интенсивного развития орошаемого земледелия. При этом минерализация возвратных коллекторно-дренажных вод в 2...3 раза выше, чем в речных водах. Вследствие этого воды рек равнинной зоны обогащаются сульфатными ионами, ионами хлора, магния и натрия. Соответственно повышается общая сумма содержания солей в водах этих рек.

Среднемноголетняя минерализация речных вод равнинной зоны изменяется от 360 до 1740 мг/дм³, а внутригодовое изменение минерализации подчинено сезонной динамике. В летний период (июнь – август) минерализация воды поднимается до 500 – 1740 мг/дм³, а в половодье понижается, составляя 360...490 мг/дм³.

Концентрация главных ионов так же, как и величина минерализации воды, подвержена влиянию природных и антропогенных факторов и

зависит от зоны расположения водосбора. В воде рек предгорной и горной зоны содержание ионов кальция колеблется от 43 до 69 %, а равнинной – от 31 до 46. Содержание гидрокарбонатных ионов изменяется в пределах 11...77, ионов магния – 22...38, суммы ионов натрия и калия 7...44, сульфатных ионов – 16...66 и, хлоридных ионов – 7...35 %.

Материалы и методы

В данном исследовании для расчетов гидрохимических показателей использованы данные мониторинга, проводимого Департаментом по мониторингу окружающей среды Министерства Экологии и природных ресурсов Азербайджана за период 1989...2010 гг. Цель работы – получение обобщенных характеристик химического состава речных вод (по минерализации и главным ионам) Азербайджана, расположенных в различных физико-географических зонах. Для этого проведен анализ исследуемых речных вод с помощью классификаций по О.А. Алекину [4] и В.М. Левченко [5].

Обсуждение результатов

М. Мейбек [9], обобщивший данные по 64 крупнейшим рекам мира, пришел к заключению, что воды 99 % рек относятся к гидрокарбонатному классу. На сульфатный класс приходится 0,9 % всех речных вод. Наименьшее распространение имеют хлоридные воды с преобладанием натрия в составе катионов. Речные воды, минерализация которых не превышает 1 г/дм³ (эта величина принята за норматив для питьевой воды), дифференцируются на воды малой минерализации (до 200 мг/дм³), средней (200...500 мг/дм³) и повышенной (500...1000 мг/дм³) [4]. По данным Г.С. Шилькрота [8] средняя величина минерализации речных вод мира составляет 90...100 мг/дм³, а содержание преобладающих в ионном составе ионов HCO₃ и Ca соответствует 53 и 14 мг/дм³. По В.С. Самарину [7] на долю рек с водами гидрокарбонатно-кальциевыми приходится около 83 % всей территории бывших СССР, минерализация их преимущественно < 500 мг/дм³. Воды сульфатного состава среди рек малочисленны. Эти воды имеют повышенную, а иногда даже и высокую минерализацию (до 4...5 г/дм³). Общая доля рек с сульфатным составом воды не более 3...4 %. Реки, в водах которых преобладающими компонентами являются хлориды натрия, их минерализация обычно повышенная и высокая, доля их участия среди рек СССР немногим более 10 %.

По классификации О.А. Алекина [4], минерализация гидрокарбонатных вод исследуемой территории, не превышает 550 мг/дм³ и относит-

ся к гидрокарбонатному классу, второму типу, группе кальция. Сульфатные воды относятся к сульфатному классу, второму типу и к натриевой группе. Хлоридные воды относятся к хлоридному классу, второму типу и также к натриевой группе.

По классификации В.М. Левченко [5], речные воды Азербайджана относятся к двум классам: гидрокарбонатно-сульфатному и сульфатному. Гипотетический солевой состав гидрокарбонатно-сульфатного класса вод представлен гидрокарбонатами кальция и магния, сульфатами магния и натрия и хлористым натрием, а сульфатного класса – сульфатами кальция, магния и натрия, гидрокарбонатами кальция и хлористым натрием.

Для определения растворенных солей нами были использованы величины главных ионов, т.е. катионов и анионов [2]. Способ их определения показан на примере среднесезонного химического состава воды р. Кудиалчай:

катионы, мг. экв		анионы, мг. экв	
Ca^{2+}	2,43	HCO_3^-	2,61
Mg^{2+}	1,12	SO_4^{2-}	1,54
$\text{Na}^+\text{+K}^+$	0,72	Cl^-	0,12
\sum_k	4,27	$\sum_{\text{и}}$	4,27

Суммируя отдельные величины, получаем, что сумма катионов равна сумме анионов. Далее по классификации В.М. Левченко [5] находим состав отдельных солей и их эквивалентное содержание, в мг. экв, в воде р. Кудиалчай: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - 2,40$; $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 - 0,20$; $\text{MgSO}_4 - 0,99$; $\text{NaSO}_4 - 0,50$; $\text{NaCl} - 0,18$; сумма составляет 4,27.

Эквивалентное содержание полученных солей переводим в абсолютные величины, мг/дм³:

$$\begin{aligned} \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - 2,40 \cdot 81 &= 194,4 \text{ мг/дм}^3; \\ \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 - 0,20 \cdot 113 &= 22,6 \text{ мг/дм}^3; \\ \text{MgSO}_4 - 0,99 \cdot 61 &= 60,6 \text{ мг/дм}^3; \\ \text{NaSO}_4 - 0,50 \cdot 47 &= 23,5 \text{ мг/дм}^3; \\ \text{NaCl} - 0,18 \cdot 61 &= 11,0 \text{ мг/дм}^3; \\ \sum &= 312,1 \text{ мг/дм}^3. \end{aligned}$$

По этому способу определен химический состав воды за многолетний период (1950...2012 гг.). Выявлено что, в воде р. Кудиалчай преобладают пять различных солей: гидрокарбонат кальция, гидрокарбонат магния, сульфат магния, сульфат натрия и хлористый натрий.

Процентное отношение солей приводится ниже:

$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	62,2 %	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	7,2 %
Na_2SO_4	7,5 %		
MgSO_4	19,5 %	NaCl	3,6 %

В реках, воды которых относятся к сульфатному классу, для определения растворенных солей расчеты проводились на примере р. Гирдыманчай:

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - 2,57 \cdot 81 = 208,2 \text{ мг/дм}^3 - 48,2 \text{ \%};$$

$$\text{CaSO}_4 - 0,53 \cdot 68,3 = 36,2 \text{ мг/дм}^3 - 8,4 \text{ \%};$$

$$\text{MgSO}_4 - 1,93 \cdot 60,2 = 116,2 \text{ мг/дм}^3 - 26,9 \text{ \%};$$

$$\text{Na}_2\text{SO}_4 - 1,24 \cdot 46,4 = 57,5 \text{ мг/дм}^3 - 13,3 \text{ \%};$$

$$\text{NaCl} - 0,23 \cdot 60,4 = 13,9 \text{ мг/дм}^3 - 3,2 \text{ \%}.$$

По этим расчетам видно, что в воде р. Гирдыманчай также преобладают пять различных солей: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – гидрокарбонат кальция, MgSO_4 – сульфат магния, Na_2SO_4 – сульфат натрия, CaSO_4 – сульфат кальция, и NaCl – хлористый натрий. В воде указанных рек преобладают соли сульфатов. Если в гидрокарбонатных водах доля гидрокарбоната магния составляет 7,2 %, то в сульфатных водах эта соль вообще отсутствует, а вместо нее примерно в таком же количестве (8,4 %) присутствует сульфат кальция. Результаты исследования показывают, что в гидрокарбонатных и сульфатных водах из растворенных солей преобладает гидрокарбонат кальция, доля которого составляет 48,2...62,2 %. В обеих группах вод доля сульфата магния составляет 19,5...26,9 %. 3,2...3,6 % растворенных солей приходится на долю хлористого натрия.

В реках, воды которых относятся к хлоридному классу, для определения растворенных солей в качестве примера были использованы гидрохимические данные р. Виляшчай. Результаты расчетов приведены ниже:

$$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2 - 3,36 \cdot 81 = 272,2 \text{ мг/дм}^3 - 32 \text{ \%};$$

$$\text{CaSO}_4 - 1,98 \cdot 68,3 = 135,3 \text{ мг/дм}^3 - 15,9 \text{ \%};$$

$$\text{MgSO}_4 - 0,91 \cdot 60,2 = 54,8 \text{ мг/дм}^3 - 6,4 \text{ \%};$$

$$\text{MgCl}_2 - 0,29 \cdot 48 = 13,9 \text{ мг/дм}^3 - 1,6 \text{ \%};$$

$$\text{NaCl} - 6,21 \cdot 60,4 = 375,1 \text{ мг/дм}^3 - 44,1 \text{ \%}.$$

Как видно из расчетов в воде р. Виляшчай также преобладают пять различных солей: гидрокарбонат кальция, сульфат кальция, сульфат магния, хлористый магний и хлористый натрий.

Хлористый натрий составляет почти половину (44,1 %) от общего объема растворенных солей. При преобладании этой соли качество воды

ухудшается. В процентном отношении второе место занимают соли гидрокарбоната кальция (32 %). В отличие от гидрокарбонатных и сульфатных вод, в хлоридных водах присутствует хлористый магний (1,6 %) (рис.).

Гидрокарбонатные воды (Кудиалчай) Сульфатные воды (Гирдыманчай)

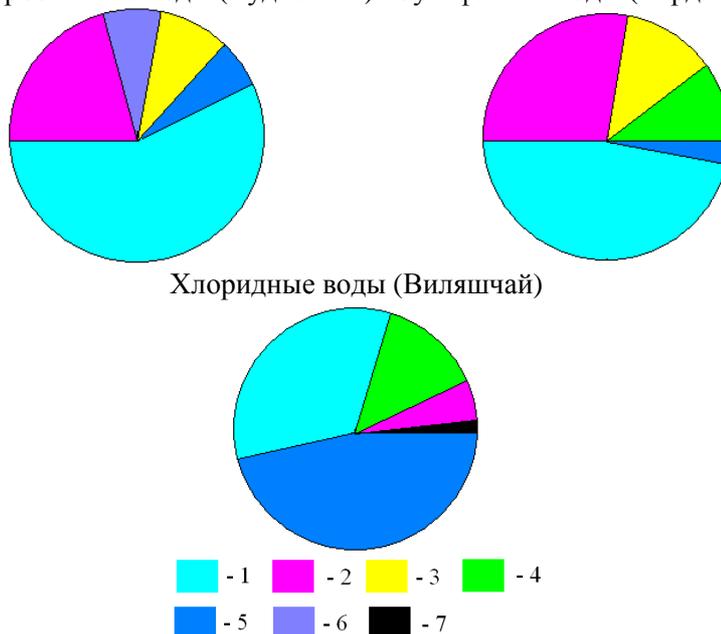


Рис. Солевой состав гидрокарбонатных, сульфатных и хлоридных вод.
 1 – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$; 2 – MgSO_4 ; 3 – Na_2SO_4 ; 4 – CaSO_4 ; 5 – NaCl ; 6 – $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$;
 7 – MgCl_2 .

Кроме вышеуказанных рек, расчеты произведены и по отдельным горным регионам. В результате выявлено, что в речных водах республики растворяются в основном следующие соли: гидрокарбонат кальция, гидрокарбонат магния, сульфат натрия, сульфат кальция и хлористый натрий. Помимо этого, в речных водах (за исключением рек южного склона Большого Кавказа) растворяются сульфат магния и сульфат натрия. Во всех исследуемых реках растворяются 2 вида солей натрия (сульфат натрия и хлористый натрий) и один вид солей кальция (гидрокарбонат кальция).

В водах рек южного склона Большого Кавказа присутствует один вид солей магния (сульфат магния). В речных водах северо-восточного склона Большого Кавказа, Малого Кавказа и Нахичеванской АР – 2 вида солей (гидрокарбонат магния и сульфат магния). В речных водах Ленкоранской природной области растворяется 3 вида солей магния (гидрокарбонат магния, сульфат магния и хлористый магний). Соли кальция (гидрокарбонат

кальция и сульфат кальция) растворяются только в речных водах южного склона Большого Кавказа (рис.) Таким образом, в речных водах республики растворяются семь различных видов солей (табл. 1).

Таблица 1

Растворенные соли в речных водах Азербайджана

Реки северо-восточного склона Большого Кавказа	Реки южного склона Большого Кавказа	Реки Малого Кавказа и Нахичеванской АР	Реки Ленкоранской природной области
Ca(HCO ₃) ₂	Ca(HCO ₃) ₂	Ca(HCO ₃) ₂	Ca(HCO ₃) ₂
Mg(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	Mg(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂
MgSO ₄	MgSO ₄	MgSO ₄	MgSO ₄
Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄
NaCl	NaCl	NaCl	NaCl
			MgCl ₂

Для экологической оценки водных объектов важное значение имеет изучение растворенных солей. В настоящей работе произведена оценка выноса реками Азербайджана растворенных солей (табл. 2).

Таблица 2

Сток растворенных солей, тыс. т

Общий солевой сток	Ca (HCO ₃) ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	Mg(HCO ₃) ₂	NaCl	CaSO ₄	MgCl ₂
Северо-восточного склон Большого Кавказа							
452	281	88	34	33	16		
Междуречья Гирдыманчай – Атачай и Белоканчай – Катехчай							
336	162	90	45		11	28	
Южный склон Большого Кавказа							
3,480	2,165	679	261	251	124		
Малый Кавказ							
1,660	1,030	324	125	120	60		
Нахичеванская АР							
380	236	74	28	27	15		
Ленкоранская природная область							
570	354	111	43	41	21		
Виляшчай – Астарачай							
122	39	8			54	19	2
Всего							
7,000	4,270	1,375	536	470	300	47	2

Как видно из данных табл. 2, среднемноголетний солевой сток рек северо-восточного склона Большого Кавказа составляет 452 тыс. т/год. Из них 281 тыс. т (62 %) приходится на $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 88 тыс. т (19,5 %) на MgSO_4 , 34 тыс. т (7,5 %) на Na_2SO_4 , 33 тыс. т (7,3 %) на $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, 16 тыс. т (3,7 %) на долю NaCl .

Среднемноголетний солевой сток рек южного склона Большого Кавказа составляет 3 млн. 480 тыс. т/год. Из этого объема на долю $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ приходится 2 млн. 165 тыс. т, на долю MgSO_4 679 тыс. т, 261 тыс. т на долю Na_2SO_4 , 251 тыс. т на долю $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, 124 тыс. т на долю NaCl .

Проведенное исследование [3] показывает, что среднемноголетний солевой сток всех рек Малого Кавказа составляет 1 млн. 660 тыс. т. Из них 1 млн. 30 тыс. т приходится на $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 324 тыс. т на MgSO_4 , 125 тыс. т на Na_2SO_4 , 120 тыс. т на $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и 60 тыс. т на NaCl .

Среднемноголетний солевой сток рек Нахичеванской АР составляет 380 тыс. т. Причем этот объем распределен следующим образом: 236 тыс. т $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 74 тыс. т MgSO_4 , 28 тыс. т Na_2SO_4 , 27 тыс. т $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, 15 тыс. т NaCl .

Среднемноголетний солевой сток рек Ленкоранской природной области, относящихся к гидрокарбонатному классу, составляет 570 тыс. т. Из них 354 тыс. т приходится на долю $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 111 тыс. т на долю MgSO_4 , 43 тыс. т на долю Na_2SO_4 , 41 тыс. т на долю $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, 21 тыс. т на долю NaCl .

В пределах территории республики к хлоридному классу относятся только воды рек бассейнов Виляшчай и Астарачай. Среднемноголетний солевой сток этих рек составляет 122 тыс. т. Первое место занимает NaCl (54 тыс. т). По объему растворенных солей на 2-ом месте $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ – 39 тыс. т, на 3-ем CaSO_4 – 19 тыс. т, на 4-ом MgSO_4 – 8 тыс. т, на 5-ом MgCl_2 – 2 тыс. т. Необходимо отметить, что соли MgCl_2 наблюдаются только в водах Виляшчай и Астарачай.

Наши расчеты показывают, что воды рек относящихся к сульфатному классу (междуречья Гирдыманчай – Атачай и Белоканчай – Катехчай) имеют среднемноголетний солевой сток, равный 336 тыс. т. Из них 162 тыс. т приходится на долю $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 90 тыс. т на долю MgSO_4 , 45 тыс. т на долю Na_2SO_4 , 28 тыс. т на долю CaSO_4 , 11 тыс. т на долю NaCl (табл. 2).

Выводы

Таким образом, проведенное исследование показывает, что среднемноголетний солевой сток горных рек Азербайджана составляет

7 млн. т/год. Из них 4,27 млн. т (61 %) приходится на $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, 1,38 млн. т (19,7 %) на MgSO_4 , 0,536 млн. т (7,6 %) на Na_2SO_4 , 0,470 млн. т (6,7 %) на $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, 0,300 млн. т (4,3 %) на долю NaCl , 0,047 млн. т (0,7 %) на долю CaSO_4 , 0,002 млн. т (0,03 %) на долю MgCl_2 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуев М.А. Классификация речных вод Азербайджана по химическому составу // Актуальные проблемы гидрометеорологии и экологии: Матер. междунар. конф., Тбилиси, 2011. С. 14-16
2. Абдуев М.А. Солевой состав речных вод Азербайджана // Известия Академия Наук Азербайджана, серия Науки о Земле. – 2013. – №1. – С. 90-95 (на азерб. языке).
3. Абдуев М.А. Химический состав речных вод Азербайджана // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. – 2010. – №8. – Т. 1. – С. 410-413.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии – Л.: Гидрометеоздат, 1970. – 444 с.
5. Левченко В.М. О классификации природных вод // Гидрохимические материалы. – 1953. – Т. 21. – С. 16-18.
6. Рустамов С.Г., Кашкай Р.М. Водные ресурсы Азербайджанской ССР. – Баку: Элм, 1989. – 180 с.
7. Самарина В.С. Гидрогеохимия. – Л.: Из-во Лен. универ., 1977. – 358 с.
8. Шилькрот Г.С. Механизмы, управляющие химическим составом речных и озерных вод // Изв. РАН. Сер. Геогр. – 1998. – №4. – С. 42-59.
9. Meybeck M. Concentrations des eaux fluviales en éléments majeurs et apports en solution aux océans // Rev. Geol. Dynam Geogr. Phys. 1979. V. 21. №3. P. 215-246.

Поступила 26.03.2015

Геогр. ғылымд. докторы М.А. Абдуев

ӨЗЕН СУЫНЫҢ ХИМИЯЛЫҚ ҚҰРАМЫ МЕН ОЛАРДЫҢ ТҰЗДЫҚ АҒЫНЫН ЕСЕПТЕУ (ӘЗІРБАЙЖАННЫҢ ТАУЛЫ ӨЗЕНДЕРІ МЫСАЛЫНДА)

Мақалада Әзірбайжан өзендері суларының химиялық құрамы талданып, олардың ерігіш тұздар құрамы мен саны анықталған. Өзен суларында әртүрлі жеті тұздар айқындалды: кальций гидрокарбонаты және магний, кальций сульфаты, натрий және магний, натрий және магний хлоры. Әзірбайжан өзендерімен ағып шығатын ерігіш тұздар бағаланған.