

Изменение макроэлементного состава речных вод в контрастных геологических условиях, река Сочи Черноморского побережья России

П. С. Лесникова✉

Федеральный исследовательский центр «Субтропический научный центр
Российской академии наук», Российская Федерация
(354002, Россия, г. Сочи, ул. Я. Фабрициуса, 2/28)

Аннотация: Цель – изучение основных природных факторов и закономерностей, определяющих формирование химического состава поверхностных вод на сильно расчленённых горных, прибрежно-морских территориях с контрастным геологическим строением, и определение диагностического признака пород геологического основания, в которых формируется долина реки.

Материалы и методы. Выбраны семь ключевых участков в долине реки Сочи Черноморского побережья России, характеризующих разные горные породы и антропогенную нагрузку. Выполнен трехкратный отбор речных вод в весенний, летний и осенний периоды года. Традиционными гидрохимическими методами определен катионно-анионный состав вод и установлены их основные типы, характерные для разных сезонов года и участков долины реки.

Результаты и обсуждение. Выделены сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-магниевый-натриевый, гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый и гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый типы вод.

Выявлены закономерные сезонные изменения гидрогеохимического состава поверхностных вод, выражающиеся в общем увеличении концентраций химических элементов в водах в продолжительную летнюю межень.

Установлен стабильный геохимический показатель для речных вод при смене горных пород. Са/Мг отношение меняется примерно в три раза в сторону увеличения при смене нейтральных аргиллитов на субщелочные карбонатные породы.

Данный показатель может являться диагностическим признаком пород геологического основания, в которых формируется долина реки, а также индикатором, определяющим тип питания реки.

Выводы. При значениях Са/Мг отношения близких к 10 единицам, когда река имеет преимущественно грунтовое питание, существует большая вероятность того, что повышенные содержания элементов в водах реки обусловлены естественными причинами, связанными с геохимическим богатством горных пород, а не с техногенным фактором.

Ключевые слова: гидрохимия, река Сочи, катионно-анионный состав вод, аргиллиты, мергели.

Источник финансирования: Публикация подготовлена в рамках реализации государственного задания ФИЦ СЦ РАН FGRW-2021-0015, № госрегистрации 122032300363-3.

Для цитирования: Лесникова П. С. Изменение макроэлементного состава речных вод в контрастных геологических условиях, река Сочи Черноморского побережья России // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 3, с. 47-56. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/47-56>

ВВЕДЕНИЕ

Качество и состав природных вод на разных участках водного потока может меняться в зави-

симости от химического состава пород, слагающих долину реки и её притоков, а также антропогенного воздействия. Основные гидрохимические

© Лесникова П. С., 2023

✉ Лесникова Полина Сергеевна, e-mail: lesnikovaps@yandex.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

процессы в системе «вода-порода» оказывают влияние и определяют состав подземных и поверхностных природных вод. К таким процессам относятся химические и биохимические реакции, ионообменные реакции, процессы кристаллизации (осаждения), растворения (выщелачивания). Горные породы выступают основным источником химических элементов, определяющим геохимический состав воды. Различные процессы, происходящие в системе «вода-порода», которая является всеохватывающей на нашей планете, и изменения в ней приводят к формированию множества разнообразных геохимических типов подземных и поверхностных вод [11, 12].

Несмотря на то, что на химический состав природных вод оказывают влияние множество факторов, многие исследователи считают, что наибольший вклад и влияние оказывает выветривание горных пород. Минеральные вещества, содержащиеся в природных водах в растворенной форме (в различных формах – ионы, комплексные соединения, коллоиды), обычно представлены в виде макро- и микрокомпонентов. К макрокомпонентам (или макроэлементам) относят главные ионы, которые определяют тип воды и составляют основную часть минерализации: катионы кальция, магния, натрия, калия и анионы – Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} [18]. Концентрации главных ионов в составе воды зависят от геологических условий и процесса взаимодействия в системе «вода-порода», который связан со временем пребывания в контакте с породой в системе водоносного горизонта [3]. В результате выветривания горных пород в природные воды поступают разные компоненты [4, 13, 16, 17]. Велика роль карбонатного выветривания: осаждение кальцита и доломита [15, 17, 20]. Отмечается влияние на состав природных вод преобразования силикатных минералов, галита и гипса [15, 18, 20].

Долина реки Сочи не подвергается воздействию крупных промышленных производств, так как используется по большей части для рекреационного туризма, основные населенные пункты сосредоточены в нижнем течении реки и не оказывают влияния в её верхней и средней части. Характерной особенностью изученного района является неоднородность и контрастность слагающих его геологических пород. Преимущественное развитие здесь имеют аргиллиты, алевролиты, глинистые сланцы. Однако в среднем течении рек распространены карбонатные (известняки) и

глинисто-карбонатные (мергели) породы с залегающим поперёк долин. Изучение особенностей химического состава и закономерностей формирования поверхностных вод на территории с такими контрастными геологическими условиями весьма перспективно для понимания процессов взаимодействия поверхностных и подземных вод и вмещающих их геологических пород.

В связи с этим целью данного исследования является выявление основных природных факторов и закономерностей, определяющих формирование химического состава поверхностных вод на сильно расчленённых горных, прибрежно-морских территориях с контрастным геологическим строением, определение диагностического признака пород геологического основания, в которых формируется долина реки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Основной водной артерией центрального района сочинской агломерации является река Сочи. Она берет свое начало на южном склоне Главного Кавказского хребта у горы Большая Чура (высота 2250 м) и впадает в Чёрное море. Протяжённость реки 45 км, площадь ее водосбора 296 км² [2].

Долина реки Сочи – естественная дрена для всех пересекаемых ею водоносных горизонтов, таким образом питание реки происходит за счёт таяния снега весной, обильных ливней и подземных вод круглогодично. В период продолжительной летне-осенней межени питание осуществляется преимущественно за счёт подземных вод.

Район протекания реки Сочи сложен контрастными горными породами, которые залегают перпендикулярно течению и сменяют друг друга. В верховьях реки горные породы представлены аргиллитами с прослоями алевролитов, песчаников, сидеритов с конкрециями пиритов. Для средней части реки характерно чередование мергелей и известняков. В 15 км выше устья реки начинается ареал распространения аргиллитов, песчаников с линзами мергелей. Ниже этого ареала вплоть до устья реки в основании современных аллювиальных отложений залегают глины с прослоями алевролитов и песчаников [5].

Для бассейна реки характерно развитие полиметаллического и золоторудного оруденения с протяженностью десятки километров и площадью сотни квадратных километров. В породах региона широко развита рассеянная сульфидная минерализация [1, 6].

Для характеристики геохимического состава вод реки Сочи были выбраны семь ключевых

участков (точек наблюдения – т.н.) (рис. 1). Произведен трёхкратный отбор проб по течению реки (от истока до устья) осенью 2021 года, весной и летом 2022 года.

Согласно геологической карте исследуемой территории по составу горных пород можно выделить несколько основных интервалов долины реки Сочи [5].

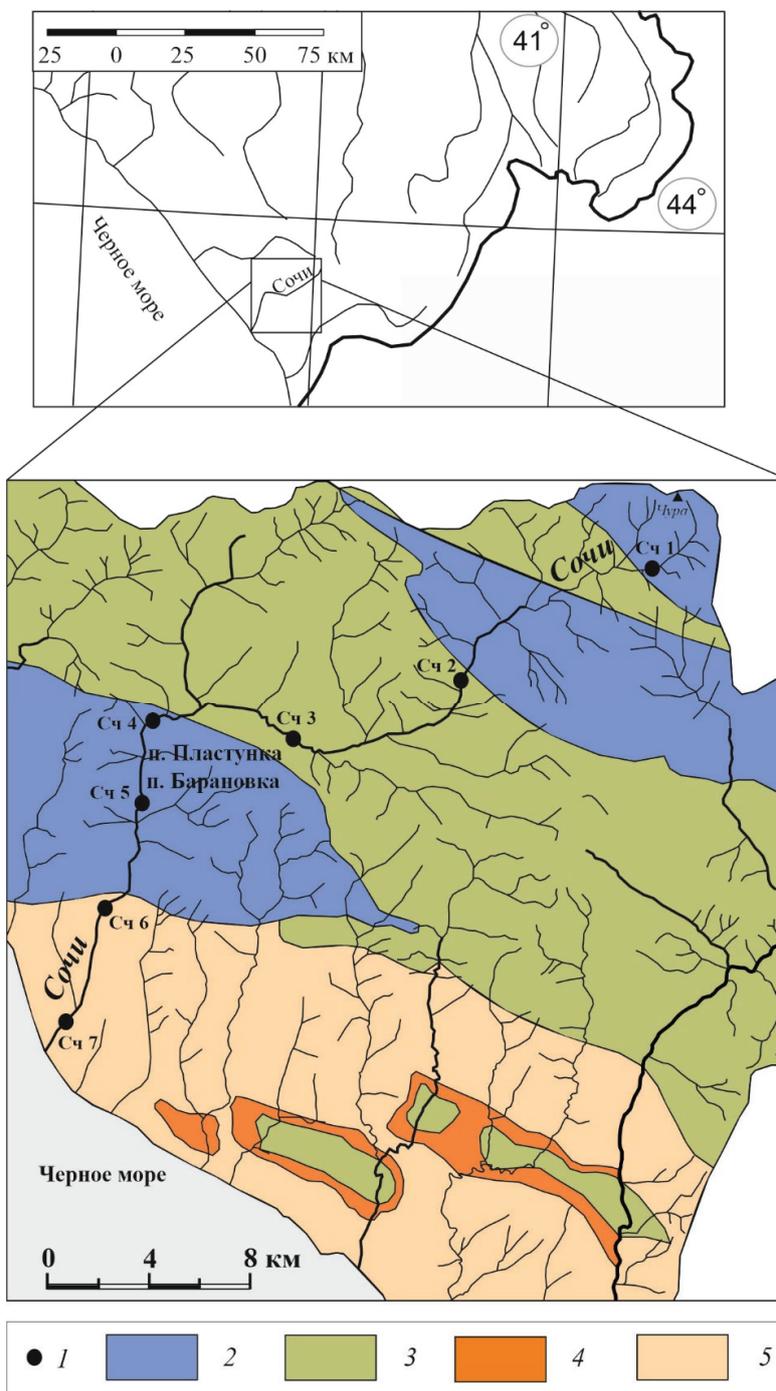


Рис. 1. Генерализованная геологическая карта обследованной долины реки Сочи:

1 – точки наблюдений; 2 – юрские аргиллиты с прослоями алевролитов, песчаников, сидеритов с конкрециями пиритов; 3 – меловые мергели с прослоями известняков, известняки с прослоями мергелей, гравелитов и песчаников; 4 – палеогеновые мергели пестроцветные; 5 – палеогеновые и неогеновые глины, мергелистые глины с алевролитами, песчаниками

[Fig. 1. Generalized geological map of the Sochi River valley:

1 – points of observation; 2 – Jurassic mudstones with interlayers of siltstones, sandstones, siderites with pyrite concretions; 3 – Cretaceous marls with interlayers of limestones, limestones with interlayers of marls, gravelstones and sandstones; 4 – Paleogene variegated marls; 5 – Paleogene and Neogene clays, marly clays with siltstones, sandstones]

Точка Сч-1, приуроченная к истоку реки, характеризует воды, на химический состав которых повлияли нейтральные аргиллиты, с прослоями алевролитов, песчаников, сидеритов с конкрециями пиритов, распространенные на данной территории. Далее происходит смена горных пород на карбонатные – щелочные известняки и мергели – этот участок относится к точкам наблюдения Сч-2, Сч-3. Следующий интервал, в границах которого расположены точки наблюдения Сч-4, Сч-5, характеризуется чередованием аргиллитов, алевролитов, мергелей, песчаников. В нижнем течении реки залегают глины, мергелистые глины с алевролитами и песчаниками – т.н. Сч-6, Сч-7 (см. рис. 1).

Населенные пункты – центральный район города Сочи и различные посёлки – сосредоточены в нижнем течении реки, таким образом в среднем и верхнем течении антропогенное влияние отсутствует.

Оценка макроэлементного катионно-анионного состава проводилась по следующим показателям: водородный показатель потенциометрическим методом; ионы аммония, нитриты, нитраты фотометрически с использованием реактива Несслера, сульфаниловой кислоты в присутствии 1-нафтиламина, салициловокислого натрия, соответственно; сульфат-ионы турбидиметрическим методом; хлориды титрованием нитратом серебра в присутствии хромата калия; гидрокарбонаты титрованием раствором соляной кислоты (индикаторы – фенолфталеин, смесь бромкрезолового зеленого и метилового красного); ионы кальция и магния титриметрически с использованием комплекса III; содержание ионов натрия – расчетным методом согласно методическим указаниям Росгидромета; сухой остаток гравиметрически. Отбор, транспортировка, хранение и анализ проб были проведены в соответствии с требованиями методик выполнения измерений. На месте отбора измерялся pH воды с помощью портативного прибора pH/EC/TDS/°C метр Milwaukee MW803.

Макроэлементный состав вод охарактеризован с помощью формулы Курлова [8]. Она дает характеристику химического состава воды, имеет вид дроби, удобна и понятна. В числителе, в порядке убывания, записывают процент-эквивалентное содержание анионов, а в знаменателе – катионов. Перед формулой указывают величину общей минерализации в г/дм³, после – pH, температуру (при необходимости). Для химической типизации воды рекомендуется учитывать все ионы, процентное содержание которых более 10, чтобы

не объединить в одну группу различные по составу и свойствам воды, уловить некоторые генетические особенности формирования химического состава воды [7, 12].

Оценка степени загрязнения вод реки нормируемыми ионами выполнена путем расчета для каждого из них доли содержания от предельно допустимых концентраций (ПДК) – $K_{\text{ПДК}} = \text{Ci} / \text{ПДК}$. В настоящих исследованиях использованы значения ПДК, установленные для вод водных объектов рыбохозяйственного значения (ПДК_{рх}). Допустимые концентрации рассматриваемых ионов составляют: NH_4^+ – 0,5 мг/л, NO_2^- – 0,08 мг/л, NO_3^- – 40 мг/л, SO_4^- – 100 мг/л, Ca^{2+} – 180 мг/л, Mg^{2+} – 40 мг/л [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В целом большую часть года для территории характерно два типа вод (табл. 1).

Сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-магниевый-натриевый тип вод установлен для истоков реки (т.н. Сч-1). Преобладание сульфатов в этих водах обусловлено проявлением зон золотосульфидной минерализации [1].

Сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридные воды характеризуются примерно равномерным распределением основных ионов в их составе с некоторыми изменениями в содержании катионов в зависимости от сезона года, в который проводился отбор проб. Минерализация этих вод очень низкая от 11 до 31 мг/л, реакция среды - от слабокислой до нейтральной, pH составляет от 6,6 до 7,0 единиц. Данный тип вод можно описать следующей формулой Курлова:

$$M_{0,021} \frac{\text{SO}_4^{2-} 47 \text{HCO}_3^- 36 \text{Cl}^- 17}{\text{Ca}^{2+} 57 \text{Mg}^{2+} 25 \text{Na}^+ 18} \text{pH } 6,8$$

Гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый тип вод типичен для всего водосбора реки ниже по течению от минерализованных рудных зон (Сч-2 – Сч-7). Эти воды обладают повышенным содержанием гидрокарбонат-ионов и кальция в составе, увеличивается минерализация в среднем до 95 мг/л, pH становится слабощелочным – 7,4. Данные изменения вызваны сменой подстилающих пород на карбонатные мергели и известняки. Гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый тип вод характеризуется следующими показателями:

$$M_{0,095} \frac{\text{HCO}_3^- 80 \text{SO}_4^{2-} 16}{\text{Ca}^{2+} 86} \text{pH } 7,4$$

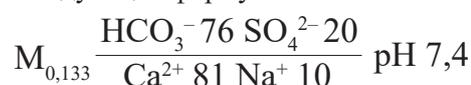
Осенью для приустьевой зоны реки был выявлен сульфатно-гидрокарбонатный кальциево-на-

Макроэлементный состав вод реки Сочи
 [Table 1. Macroelemental composition of the Sochi River waters]

Тип вод/ Water type	Точка/ Point	Значения/ Values	pH	M _{общ} ⁺ мг/дм ³	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
ВЕСНА 2022										
I Сульфатно- гидрокарбонатно- хлоридный кальциево-натриево- магниевый	Сч-1	Макс	6,88	13	0,74	1,53	0,30	2,9	6,6	7,6
		Мин	6,44	10	0,61	1,22	0,20	2,7	6,1	7,1
		Сред	6,62	11	0,66	1,41	0,24	2,8	6,4	7,3
		Эквивалентный процент				24	59	16	24	40
II Гидрокарбо- натно-сульфатный кальциевый	Сч-2-7	Макс	8,09	110	1,86	27,6	1,63	2,8	11,5	97,6
		Мин	6,64	74	1,17	20,4	1,40	2,7	10,4	73,2
		Сред	7,40	92	1,47	24,6	1,51	2,8	11,0	87,0
		Эквивалентный процент				4	87	9	5	14
ЛЕТО 2022										
I Сульфатно- гидрокарбонатно- хлоридный кальциево-магниевый- натриевый	Сч-1	Макс	7,03	21	2,57	8,6	3,3	3,0	12,2	11,0
		Мин	6,85	18	2,43	8,0	3,1	2,9	11,8	10,4
		Сред	6,94	20	2,5	8,3	3,2	3,0	12,0	10,7
		Эквивалентный процент				14	53	33	16	49
II Гидрокарбо- натно-сульфатный кальциево- магниевый	Сч-2-7	Макс	8,45	151	3,01	44,1	12,2	4,3	26,7	146
		Мин	7,52	94	1,77	31,1	5,5	2,8	18,5	110
		Сред	8,13	123	2,46	36,9	7,7	3,6	23,1	122
		Эквивалентный процент				4	72	24	4	19
ОСЕНЬ 2021										
I Сульфатно- гидрокарбонатный кальциево-магниевый- натриевый	Сч-1	Макс	7,35	33	4,20	14,0	4,15	3,1	21,8	20,1
		Мин	6,79	28	3,91	12,8	3,41	2,9	18,8	16,8
		Сред	7,02	31	4,03	13,5	3,85	3,0	20,6	18,8
		Эквивалентный процент				15	58	27	10	52
II Гидрокарбо- натно-сульфатный кальциевый	Сч-2-6	Макс	7,85	114	4,6	46,6	3,05	3,6	18,5	100,2
		Мин	6,94	80	2,8	37,2	2,84	3,0	14,4	78,4
		Сред	7,37	98	3,4	42,4	2,94	3,3	15,6	89,9
		Эквивалентный процент				6	84	10	5	17
III Гидрокарбонатно- сульфатный кальциево- натриевый	Сч-7	Макс	7,59	145	8,4	57,3	3,5	4,2	22,3	116
		Мин	7,10	124	7,4	49,4	3,0	3,8	21,5	99
		Сред	7,42	133	8,0	54,2	3,3	4	21,9	107
		Эквивалентный процент				10,4	81,4	8,1	4,8	19,7

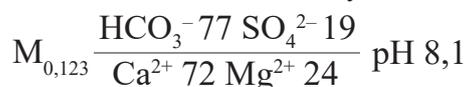
триевый тип вод. Данный состав вод обусловлен влиянием прибрежных приливных морских процессов, поставляющих в больших содержаниях ион натрия. Проявление этого типа вод вероятно не связано с сезонными изменениями, а скорее обусловлено направлением ветра и разной интен-

сивностью волновых явлений. Его состав представлен следующей формулой:



В летний сезон в период продолжительной межени, когда минерализация вод достигает макси-

мальных значений (123 мг/л), речные воды ниже проявлений рудных зон, меняют тип на гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый. Увеличивается содержание всех основных ионов – гидрокарбонатов, сульфатов, кальция, магния, повышается минерализация и в некоторых случаях достигает максимума значений 151 мг/л. Значение водородного показателя вод также растет и в среднем составляет 8,1, а максимум 8,4 единиц рН. Данные характеристики химического состава можно объяснить окончанием снеготаяния в долине реки, отсутствием атмосферных осадков в этот период и, соответственно, преимущественным подземным питанием реки. Гидрохимическая формула для этого типа вод имеет следующий вид:



Безусловно, появление магния в составе преобладающих катионов в этот период связано с большим влиянием горных пород на состав вод при преимущественно грунтовым питании реки. Большое влияние карбонатных пород на формирование состава вод реки повышает содержание в них кальция и магния.

При этом, если рассматривать абсолютные содержания кальция и магния в водах реки, обнаруживается следующая общая закономерность. При смене пород в верховьях реки от нейтральных аргиллитов на карбонатные мергели наблюдается резкий

рост Ca/Mg отношения. Это обусловлено средними содержаниями элементов (кларками) для нейтральных и карбонатных осадочных пород [14]. Кларк Ca в карбонатных породах (325000 мг/кг) выше, чем в глинистых (29400 мг/кг) в 11 раз, а содержание Mg (46000 и 15400 мг/кг в карбонатных и глинистых породах, соответственно) лишь в 3 раза. Соответственно, при смене пород от нейтральных аргиллитов к щелочным мергелям рост содержаний Ca в водах происходит существенней, чем Mg, что отражается на повышении показателя Ca/Mg отношение (рис. 2).

То есть, показатель Ca/Mg отношение может являться индикатором двух характеристик для вод реки.

Первое: численный показатель Ca/Mg отношения является характеристикой пород, которые влияют на состав вод. В среднем для аргиллитов он составляет 4 (от 2,6 до 5,9 единиц), а для мергелей 13 (от 8,2 до 17 единиц).

Второе: численный показатель Ca/Mg отношения свидетельствует о большем или меньшем влиянии подземного питания на состав вод. Увеличение этого показателя при многоводности реки будет свидетельствовать о смешанном питании реки – атмосферными осадками и грунтовыми водами и, соответственно, меньшем влиянии пород на состав вод. Например, в весенний и осенний периоды отношение Ca/Mg при переходе от аргиллитов к мергелям увеличивается с 4,7 раза до 15. В период многоводности в зоне распространения карбонатных пород значения численного показателя Ca/Mg отношения

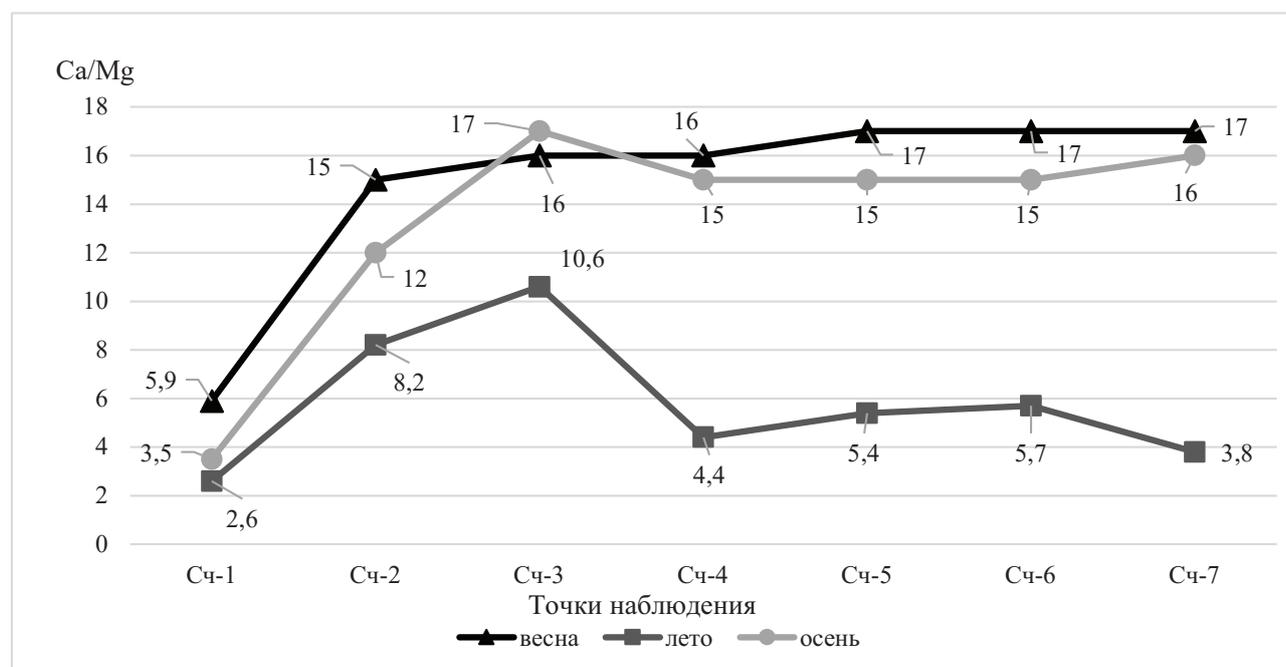


Рис. 2. Ca/Mg отношение по сезонам в водах реки Сочи
 [Fig. 2. Ca/Mg ratio by season in the waters of the Sochi River]

нивелируются на всем протяжении реки за счет разбавления вод атмосферными осадками.

При преимущественно подземном питании в продолжительную межень будет наблюдаться меньший рост Ca/Mg отношения при смене пород (примерно до 9,4 раза), обусловленный большим влиянием пород на состав вод и увеличением концентраций ионов магния. В летнее маловодье за счет питания грунтовыми водами растет минерализация речных вод. Значительно увеличивается содержание магния. Ca/Mg отношение изменяется от 2,6 раз в т.н. Сч-1 до 10,6 раз в т.н. Сч-3.

В среднем Ca/Mg отношение для аргиллитов составляет 4 единицы весной-осенью и 2,6 летом в период продолжительной межени. Для карбонатных пород показатель имеет значения 15 единиц весной-осенью и 9,4 летом в период межени.

В результате наблюдений установлено, что содержание ионов азотной группы, как индикатора хозяйственно-бытового загрязнения, на всем протяжении течения реки Сочи не превышает установленных ПДКрх. Также не выявлены превышения концентраций сульфат-ионов, кальция, магния (табл. 2). Это характерно для всех изученных сезонов года.

Таблица 2

Доля ПДК (Кпдк) среднего содержания ионов
[Table 2. Percentage of MPC (K_{MPC}) of the average content of ions]

Точка наблюдения/ Observation point	NH_4^+	NO_2^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}
Сч-1	0,07	0,07	0,06	0,13	0,04	0,06
Сч-2	0,10	0,10	0,09	0,16	0,23	0,10
Сч-3	0,11	0,10	0,10	0,17	0,24	0,09
Сч-4	0,11	0,10	0,11	0,16	0,26	0,17
Сч-5	0,11	0,09	0,11	0,17	0,27	0,16
Сч-6	0,11	0,18	0,12	0,17	0,28	0,16
Сч-7	0,11	0,30	0,12	0,19	0,32	0,23

Однако, в черте городской застройки начиная с т.н. Сч-6 концентрации нитратов и нитритов увеличиваются (рис. 3). Вариация ионов азотной группы отражает главную проблему сочинской агломерации – сброс неочищенных хозяйственно-бытовых стоков в водные объекты [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для большей части года химический состав вод реки Сочи характеризуется двумя типами: смешанный сульфатно-гидрокарбонатно-хлоридный кальциево-магниевый-натриевый тип для истока в зоне распространения нейтральных аргиллитов и сульфидной минерализации, гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый – для щелочных известняков и мергелей. В зависимости от сезона и типа питания реки изменяется минерализация, содержание основных ионов. В период весеннего половодья эти показатели уменьшаются за счет естественного разубоживания речных вод атмосферными осадками, а в продолжительную летнюю межень, при преимущественном питании грунтовыми водами, увеличиваются и выделяется гидрокарбонатно-сульфатный кальциево-магниевый тип вод.

Для смешанного типа вод истока характерен слабощелочный или нейтральный водородный показатель,

очень низкая минерализация – в среднем 21 мг/л. Под влиянием карбонатных осадочных пород pH речных вод изменяется до слабощелочного, а минерализация вырастает в среднем по сезонам до 104 мг/л.

Индикатором смены горных пород является показатель Ca/Mg отношения, значение которого также зависит от сезона и типа питания реки. При смене горных пород от нейтральных аргиллитов к карбонатным известнякам и мергелям наблюдается резкий пик Ca/Mg. В половодье численное значение Ca/Mg отношения для ареала распространения аргиллитов равно 4, для мергелей – 15. В продолжительную летнюю межень при преимущественном подземном питании и большем влиянии горных пород на состав речных вод показатель Ca/Mg для аргиллитов равен 2,6, а для мергелей – 9,4. Численный показатель Ca/Mg отношения является диагностическим не только для горных пород, оказывающих влияние на геохимический состав речных вод, но и для типа питания реки.

Превышение установленных нормативов для основных ионов не выявлено. Однако в нижней части реки в период летней межени содержание нитритов и нитратов увеличивается, что объясняется влиянием Сочинской агломерации.

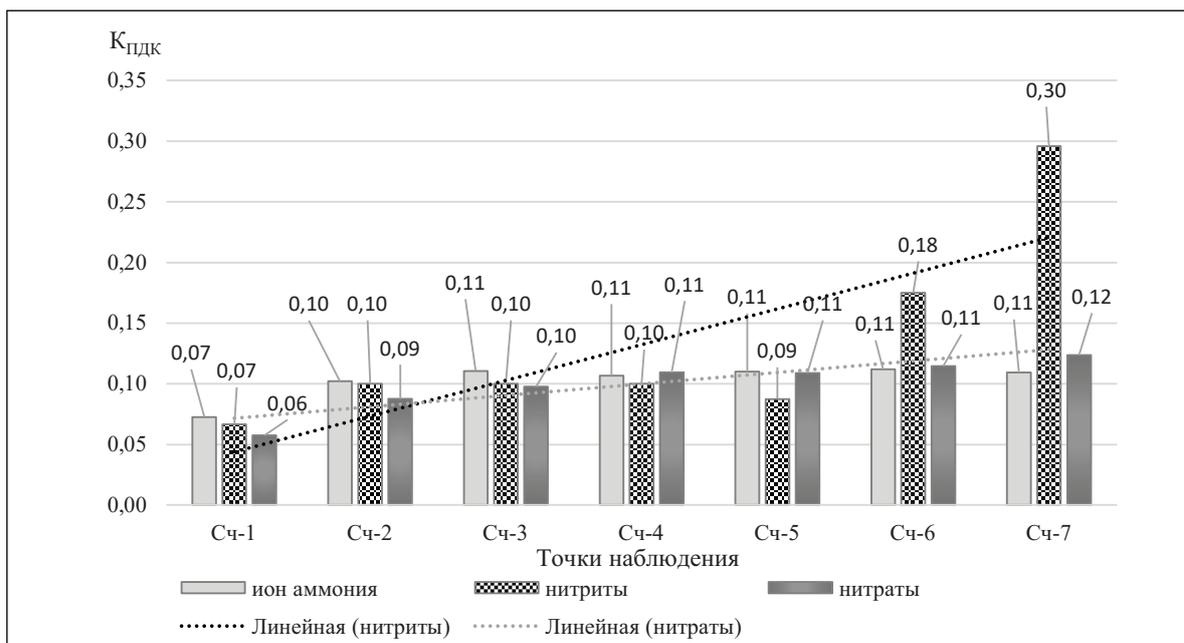


Рис. 3. Доля ПДК (Кпдк) ионов азотной группы
 [Fig. 3. Percentage of MPC (K_{MPC}) of ions of the nitrogen group]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богуш И. А., Черкашин В. И. Металлогения юрских осадочных комплексов Кавказа // Сборник статей по материалам научно-практической конференции, посвященной памяти заслуженного геолога РФ Д. А. Мирзоева. Труды Института геологии ДНЦ РАН, 2012, вып. 58, с. 7-13.
2. Борисов В. И. Реки Кубани. Краснодар: Кубанское книжное издательство, 2005. 120 с.
3. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование / В. А. Алексеев, Б. Н. Рыженко, С. Л. Шварцев и др. Новосибирск: Издательство СО РАН, 2005. 244 с.
4. Геохимические типы природных вод Байдарской долины (Крымский полуостров) / Д. А. Новиков, Ю. Г. Копылова, А. В. Черных и др. // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН, 2020, № 17, с. 401-405.
5. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1: 200 000. Серия Кавказская. Лист К-37-V. Изд. 2-е / Лаврищев В. А., Пруцкий Н. И., Семенов В. М. и др. Санкт-Петербург, 2002.
6. Карелина Е. В., Марков В. Е., Блоков В. И. Перспективность Краснополянского района города Сочи на благороднометалльное оруденение // Вестник РУДН. Серия: Инженерные исследования, 2017, № 18 (4), с. 497-504.
7. Кирюхин В. А., Коротков А. И., Шварцев С. Л. Гидрогеохимия. Москва: Недра, 1993. 384 с.
8. Курлов М. Г., Собкевич А. И. Опыт классификации сибирских целебных минеральных вод, согласно их химическому составу. Томск, 1921. 52 с.
9. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы

10. Савченко Л. Дело с душком. В Сочи назревает экологическая катастрофа // Народная газета Сочи, 2022, № 27 (876).
11. Шварцев С. Л. Внутренняя эволюция геологической системы вода-порода // Вестник Российской академии наук, 2012, т. 82, № 3, с. 242-251.
12. Шварцев С. Л. Фундаментальные механизмы взаимодействия в системе вода-горная порода и ее внутренняя геологическая эволюция // Литосфера, 2008, № 6, с. 3-24.
13. Geochemical Modeling of Water-Rock Interaction Processes in the Pollino National Park / C. Apollaro, I. Fuoco, L. Bloise et al. // Geofluids, 2021, vol. 2021, 17 pages.
14. Grigoriev N. A. Average concentrations of chemical elements in rocks of the upper continental crust // Geochemistry International, 2003, 41(7), pp. 711-718.
15. Hydrogeochemical characteristics of the Indus River water system / A. K. Tiwari, A. K. Singh, B. Phartiyal, A. Sharma // Chemistry and Ecology, 2021, 37:9-10, pp. 780-808.
16. Insights into hydrological and hydrochemical processes in response to water replenishment for lakes in arid regions / C. Jie, Q. Hui, G. Yanyan et al. // Journal of Hydrology, 2020, 581.
17. Major ion chemistry and hydrochemical processes controlling water composition of Teesta River catchment, Sikkim Himalaya, India / A. K. Tiwari, A. K. Singh, S. Giri, M. K. Mahato // International Journal of Environmental Analytical Chemistry, 2021.
18. Nikanorov A. M., Brazhnikova, L. V. Water Chemical Composition of Rivers, Lakes and Wetlands // Types and Properties of Water, 2012, vol. II, pp. 42-80.

19. Spatial Variations of Major Ion Chemistry and Hydrogeochemical Processes of Groundwater, Menoufia Governorate, Egypt / M. Okbah, M. Elgammal, M. Ibrahim, S. Abokhder // *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 2019, 23, pp. 195-205.

20. Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Some Karst Water Sources in Apuseni Mountains,

Romania / M.-A. Hoaghia, A. Moldovan, E. Kovacs et al. // *Water* 2021, 2021, 13, 857.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 07.12.2022

Принята к публикации 04.09.2023

LAND HYDROLOGY, WATER RESOURCES, HYDROCHEMISTRY

UDC 556.114:502

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/3/47-56>

Changes in the Macroelemental Composition of River Waters in Contrast Geological Conditions, Sochi River of the Black Sea Coast of Russia

P.S. Lesnikova ✉

*Federal Research Centre the Subtropical Scientific Centre
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(2/28, Yan Fabritsius Str., Sochi, 354002)*

Abstract: The purpose is to study the main natural factors and patterns determining the formation of the chemical composition of surface waters in highly dissected mountainous, coastal-marine territories with contrasting geological structure, and to determine the diagnostic sign of the geological basement rocks in which the river valley is formed.

Materials and methods. Seven key sites have been selected in the Sochi River valley of the Black Sea coast of Russia, characterizing different rocks and anthropogenic load. A three-time selection of river waters was carried out in the spring, summer and autumn periods of the year. The cationic-anionic composition of waters has been determined by traditional hydrochemical methods and their main types characteristic of different seasons and sections of the river valley have been established.

Results and discussion. The following types of waters are distinguished: sulfate-bicarbonate-chloride calcium-magnesium-sodium, bicarbonate-sulfate calcium and bicarbonate-sulfate calcium-magnesium. Regular seasonal changes in the hydrogeochemical composition of surface waters have been revealed, which are expressed in a general increase in the concentrations of chemical elements in water during the long summer low water period. The stable geochemical indicator has been established for river waters during the change of rocks. The Ca/Mg ratio changes approximately three times in the direction of increase when neutral mudstones are replaced by subalkaline carbonate rocks. This indicator can be a diagnostic feature of the rocks of the geological base in which the river valley is formed, as well as an indicator that determines the type of river feeding.

Conclusion. At Ca/Mg values close to 10 units, when the river is predominantly fed by groundwater, there is a high probability that the increased content of elements in the river waters is due to natural causes associated with the geochemical richness of rocks, and not with the technogenic factor.

Key words: hydrochemistry, the Sochi River, cation-anion composition of water, mudstones, marls.

Funding: The publication has been prepared within the framework of realization of the state task of FIC SSC RAS FGRW-2021-0015, state registration No. 122032300363-3.

For citation: Lesnikova P.S. Changes in the Macroelemental Composition of River Waters in Contrast Geological Conditions, Sochi River of the Black Sea Coast of Russia. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo*

© Lesnikova P.S., 2023

✉ Polina S. Lesnikova, e-mail: lesnikovaps@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

REFERENCES

1. Bogush I.A., Cherkashin V.I. Metallogeniya yurskikh osadochnykh kompleksov Kavkaza [Metallogeny of Jurassic sedimentary complexes of the Caucasus]. *Sbornik statey po materialam nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchenoy pamyati zaslužennogo geologa RF D.A. Mirzoeva. Trudy Instituta geologii DNTs RAN*, 2012, v. 58, p. 7-13. (In Russ.)
2. Borisov V.I. *Reki Kubani* [Kuban Rivers]. Krasnodar: Kubanskoe knizhnoe izdatel'stvo, 2005. 120 p. (In Russ.)
3. Geologicheskaya evolyutsiya i samoorganizatsiya sistemy voda–poroda. T. 1. Sistema voda–poroda v zemnoy kore: vzaimodeystvie, kinetika, ravnovesie, modelirovanie [Geological evolution and self-organization of the water–rock system. Vol. 1. The water–rock system in the Earth's crust: interaction, kinetics, equilibrium, modeling] / V.A. Alekseev, B. N. Ryzhenko, S. L. Shvartsev i dr. Novosibirsk: Izdatel'stvo SO RAN, 2005. 244 p. (In Russ.)
4. Karelina E.V., Markov V.E., Blokov V.I. Perspektivnost' Krasnopolyanskogo rayona goroda Sochi na blagorodnometall'noe orudenenie [Prospects of Krasnopolyansky district of Sochi for noble metal mineralization]. *Vestnik RUDN. Seriya: Inzhenernye issledovaniya*, 2017, no. 18 (4), pp. 497-504. (In Russ.)
5. Kiryukhin V.A., Korotkov A.I., Shvartsev S.L. [GidrogeokhimiyaHydrogeochemistry]. Moscow: Nedra, 1993. 384 p.
6. Kurlov M.G., Sobkevich A.I. *Opyt klassifikatsii sibirskikh tselebnykh mineral'nykh vod, soglasno ikh khimicheskomu sostavu* [Experience of classification of Siberian medicinal mineral waters according to their chemical composition]. Tomsk, 1921. 52 p. (In Russ.)
7. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii masshtaba 1: 200 000. Seriya Kavkazskaya. List K-37-V. Izd. 2-e* [State geological map of the Russian Federation scale 1: 200 000. The Caucasian series. Sheet K-37-V. 2nd Ed.] / Lavrishchev V.A., Prutskiy N.I., Semenov V.M. i dr. Saint-Petersburg, 2002. (In Russ.)
8. Geokhimicheskie tipy prirodnykh vod Baydarskoy doliny (Krymskiy poluostrov) [Geochemical types of natural waters of the Baydar Valley (Crimean Peninsula)] / D.A. Novikov, Yu. G. Kopylova, A. V. Chernykh i dr. *Trudy Fersmanovskoy nauchnoy sessii GI KNTs RAN*, 2020, no. 17, pp. 401-405. (In Russ.)
9. *Normativy kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativy pre-del'no dopustimyykh kontsentratsiy vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya* [Standards of water quality of water bodies of fishery significance, including standards of maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery significance]. Moscow, 2016. (In Russ.)
10. Savchenko L. Delo s dushkom. V Sochi nazrevaet ekologicheskaya katastrofa [Deal with the smell. An environmental catastrophe is brewing in Sochi]. *Narodnaya gazeta Sochi*, 2022, no. 27 (876). (In Russ.)
11. Shvartsev S.L. Vnutrennyaya evolyutsiya geologicheskoy sistemy voda-poroda [Internal evolution of the water-rock geological system]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2012, vol. 82, no. 3, pp. 242-251. (In Russ.)
12. Shvartsev S.L. Fundamental'nye mekhanizmy vzaimodeystviya v sisteme voda-gornaya poroda i ee vnutrennyaya geologicheskaya evolyutsiya [Fundamental mechanisms of interaction in the water-rock system and its internal geological evolution]. *Litosfera*, 2008, no. 6, pp. 3-24. (In Russ.)
13. Geochemical Modeling of Water-Rock Interaction Processes in the Pollino National Park / C. Apollaro, I. Fucoco, L. Bloise et al. *Geofluids*, 2021, vol. 2021, 17 pages.
14. Grigoriev N.A. Average concentrations of chemical elements in rocks of the upper continental crust. *Geochemistry International*, 2003, 41 (7), pp. 711-718.
15. Hydrogeochemical characteristics of the Indus River water system / A.K. Tiwari, A.K. Singh, B. Phartiyal, A. Sharma. *Chemistry and Ecology*, 2021, 37:9-10, pp. 780-808.
16. Insights into hydrological and hydrochemical processes in response to water replenishment for lakes in arid regions / C. Jie, Q. Hui, G. Yanyan et al. *Journal of Hydrology*, 2020, 581.
17. Major ion chemistry and hydrochemical processes controlling water composition of Teesta River catchment, Sikkim Himalaya, India / A.K. Tiwari, A.K. Singh, S. Giri, M.K. Mahato. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2021.
18. Nikanorov A.M., Brazhnikova, L.V. Water Chemical Composition of Rivers, Lakes and Wetlands. *Types and Properties of Water*, 2012, vol. II, pp. 42-80.
19. Spatial Variations of Major Ion Chemistry and Hydrogeochemical Processes of Groundwater, Menoufia Governorate, Egypt / M. Okbah, M. Elgammal, M. Ibrahim, S. Abokhder. *Egyptian Journal of Aquatic Biology and Fisheries*, 2019, 23, pp. 195-205.
20. Water Quality and Hydrogeochemical Characteristics of Some Karst Water Sources in Apuseni Mountains, Romania / M.-A. Hoaghia, A. Moldovan, E. Kovacs et al. *Water 2021*, 2021, 13, 857.

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 07.12.2022

Accepted: 04.09.2023

Лесникова Полина Сергеевна
младший научный сотрудник лаборатории геоэкологии и природных процессов Субтропического научного центра Российской академии наук, г. Сочи, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-5711-2204, e-mail: lesnikovaps@yandex.ru

Polina S. Lesnikova
Junior Researcher at the Laboratory of Geoecology and Natural Processes of the Subtropical Scientific Centre of the Russian Academy of Sciences, Sochi, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-5711-2204, e-mail: lesnikovaps@yandex.ru