

УДК 504.45:543.3:519.254

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА МНОГОЛЕТНИХ ДАННЫХ ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ ВОДЫ РЕКИ ЧЕРЕК-БЕЗЕНГИЙСКИЙ

© 2015 г. Х.-М.М. Газаев, Ф.А. Атабиева, И.И. Кучменова,
Л.З. Жинжакова

Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, Кабардино-Балкарская Республика, пос. Капшаган

Ключевые слова: высокогорные водосборы, химический анализ воды р. Черек-Безенгийский, концентрации главных ионов, статистическая обработка гидрохимических показателей.



Х.-М.М. Газаев

Ф.А. Атабиева

И.И. Кучменова

Л.З. Жинжакова

Представлены статистические показатели многолетних наблюдений за химическим составом воды высокогорной р. Черек-Безенгийский в пределах Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника. Результаты исследования могут быть использованы для формирования обобщенной систематической информации, необходимой для разработки региональных или бассейновых показателей качества воды.

Пресная вода в настоящее время является стратегическим ресурсом планеты, поддержанию ее высокого природного качества в последние годы уделяется особое внимание. При определении качества воды критерием нормирования являются значения предельно-допустимых концентраций (ПДК), которые для всей территории России одинаковы, зависят только от вида водопользования и не учитывают региональные особенности форми-

рования природных вод. Для нашей страны с ее разнообразием климатических зон это особенно актуально, так как каждая экосистема по-своему уникальна. В некоторых государствах (Норвегия, Канада, Великобритания) [1] считается целесообразной разработка нормативов для каждого водного объекта. В России нормативных документов по этой проблеме пока немного. Одним из таких документов являются «Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты», утвержденные приказом Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 12.12.2007 №328 [2], в которых отмечается необходимость установления нормативов ПДК химических веществ на основе показателей естественного регионального фона. В 2011 г. на Объединенном пленуме Научного совета отделения биологических наук Российской академии наук (РАН) по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии по проблеме экологического нормирования и разработки системы оценки состояния водоемов (Москва) было предложено ввести региональные нормативы качества вод или бассейновые допустимые концентрации (БДК) [3]. Таким образом, сегодня признается несовершенство системы нормирования и предлагаются нормативы, учитывающие факт формирования состава воды, свойственный данной водосборной территории, зависящий от природно-климатических условий.

При разработке нормативов качества воды особый интерес представляют речные бассейны или их участки, где сохранился естественный гидрохимический фон. Одним из таких участков является участок речной сети на территории Кабардино-Балкарского высокогорного природного государственного заповедника (Особо охраняемые природные территории). Участок речной сети труднодоступен, высота водосбора у истока достигает 2400 м над уровнем моря, на 14 км – 1900 м. Водосбор р. Черек-Безенгийский расположен на значительном расстоянии от источников антропогенного воздействия, поэтому химический состав воды формируется только под влиянием природных факторов, характерных для данного высокогорного водосбора.

Научные сотрудники заповедника с 2004 г. ведут гидрохимический мониторинг воды высокогорной части р. Черек-Безенгийский, которая в пределах заповедника и ее охранной зоны представлена отрезком от истока протяженностью 14 км. Основной целью мониторинга является выделение и анализ характерных сезонных изменений качества воды по отдельным показателям химического состава, оценка изменения качества воды по выделенным сезонам и по длине реки за многолетний период. Пробы воды отбираются один раз в основные фазы водного режима: зимняя межень

(апрель) и летнее половодье (август) [4]. В данной статье приведены средне-многолетние значения содержания главных ионов в зимний и летний периоды по пунктам отбора проб (табл. 1). Отбор проб воды производили в апреле (зимняя межень) и августе (летнее половодье).

Таблица 1. Пункты отбора проб воды на водозаборе р. Черек-Безенгийский

№ пункта	Водный объект, км
1	р. Черек-Безенгийский, исток
2	р. Сюеме-суу, левый приток, неледниковый, 1,1 км
3	р. Черек-Безенгийский до впадения р. Мижирги, 1,2 км
4	р. Мижирги, правый приток, ледниковый, 1,3 км
5	р. Черек-Безенгийский, кордон, 9 км
6	р. Черек-Безенгийский, камнерезный цех, 14 км

Река Черек образуется при слиянии рек Черек-Балкарский (правая составляющая) и Черек-Безенгийский (левая составляющая) в районе пос. Бабугент. Зная расход воды для р. Черек и Черек-Балкарский, вычислили примерное значение расхода воды для р. Черек-Безенгийский за 1926–1962 гг.

Таблица 2. Средний и характерный расходы воды, м³/с

Расход воды	Апрель	Август
р. Черек – с. Советское, 1926–1962 гг.		
Средний	14,0	109
Наибольший	22,4	156
Наименьший	10,1	68,7
р. Черек-Балкарский – пос. Бабугент, 1926–1962 гг.		
Средний	9,27	69,3
Наибольший	13,4	110
Наименьший	6,81	55,4
р. Черек-Безенгийский – пос. Бабугент, 1926–1962 гг.		
Средний	4,7	39,7
Наибольший	9,0	46,0
Наименьший	3,3	13,3

Вопросы недостаточной гидрологической сети высокогорных районов (Северный склон Большого Кавказа), куда входит территория заповедника, неоднократно обсуждались на разных уровнях власти, авторы статьи также отмечали необходимость создания водомерных постов в бассейне р. Черек-Безенгийский [5]. К сожалению, проблема пока не решена, поэтому в настоящее время невозможно представить современные значения расхода воды и величин ионного стока по фазам водного режима. Из литературных источников можно привести средние и характерные расходы воды за 1926 – 1962 гг. (табл. 2) [6].

Представлены результаты статистической обработки многолетних наблюдений за гидрохимическим составом воды р. Черек-Безенгийский, актуальные для разработки региональных норм качества воды. Рассмотрены такие статистические показатели, как дисперсия (σ^2), стандартное отклонение (s) и коэффициент вариации (C_v) химических показателей для всех пунктов отбора проб воды (табл. 3, 4). Наибольший интерес для сравнения представляют пункты отбора проб 1 и 6 – исток и 14 км. Дисперсия и стандартное отклонение являются показателями разнообразия или разброса значений отдельных наблюдений вокруг среднего значения. Показатели разнообразия подсчитывали по формулам:

$$\sigma^2 = \frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1} \quad (1)$$

$$s = \frac{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2}}{n - 1}, \quad (2)$$

где σ^2 – дисперсия; s – стандартное отклонение; x_i – значение x в точке; \bar{x} – среднее значение; n – количество измерений.

В отличие от дисперсии и стандартного отклонения, коэффициент вариации является относительной оценкой. Коэффициент вариации (C_v) измеряет рассеивание данных относительно среднего значения

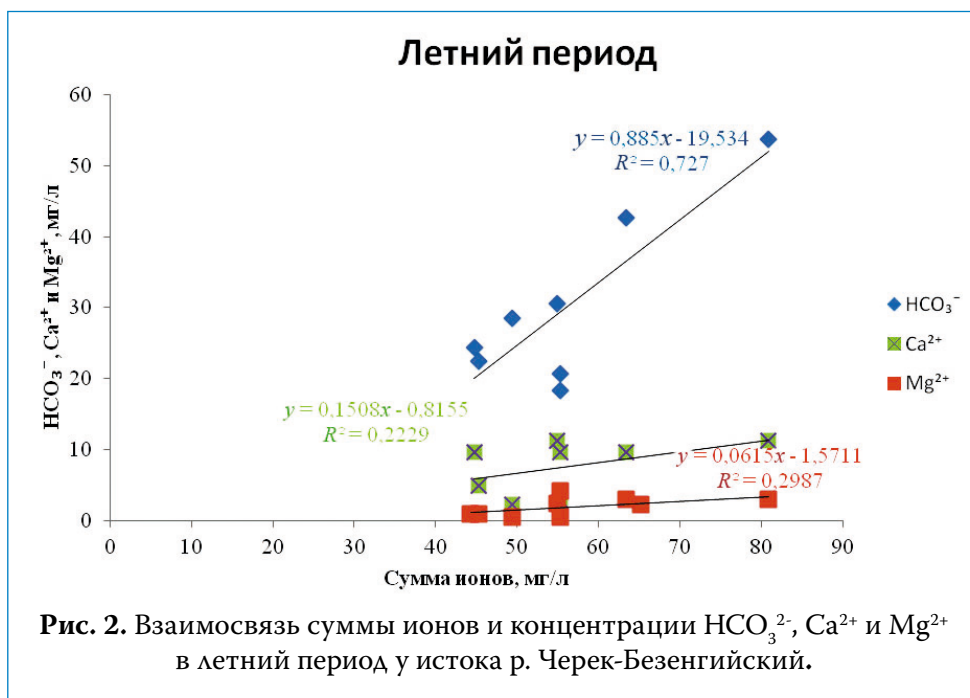
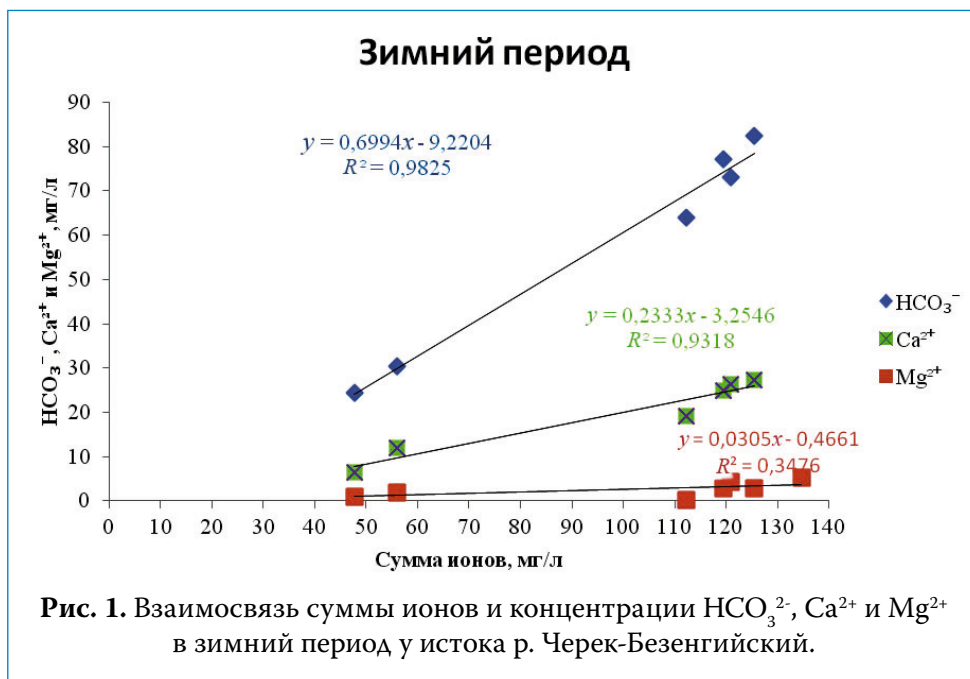
$$C_v = \frac{s}{\bar{x}}. \quad (3)$$

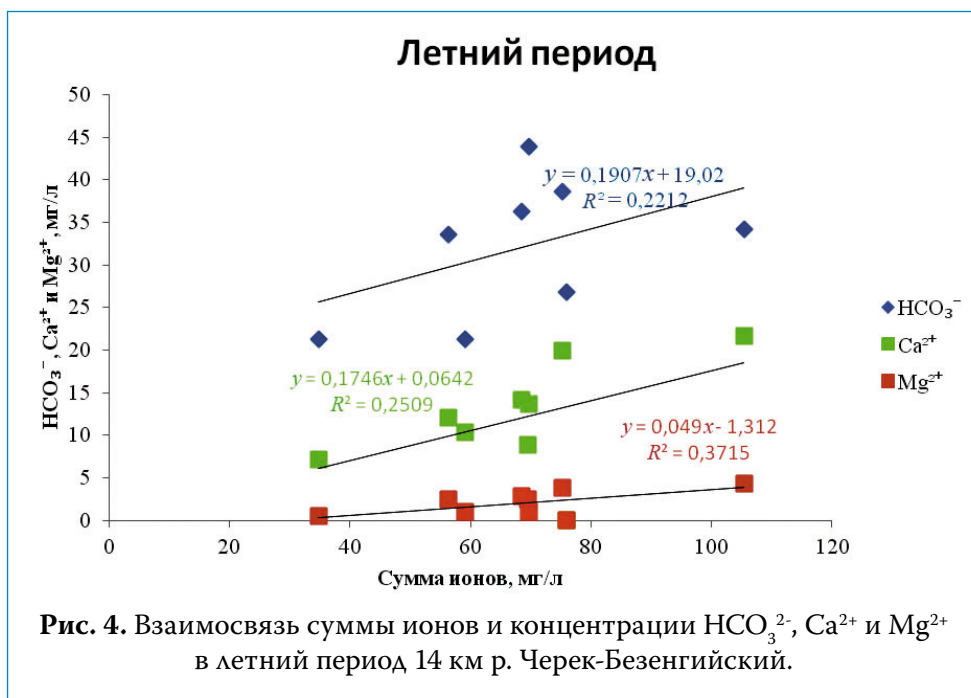
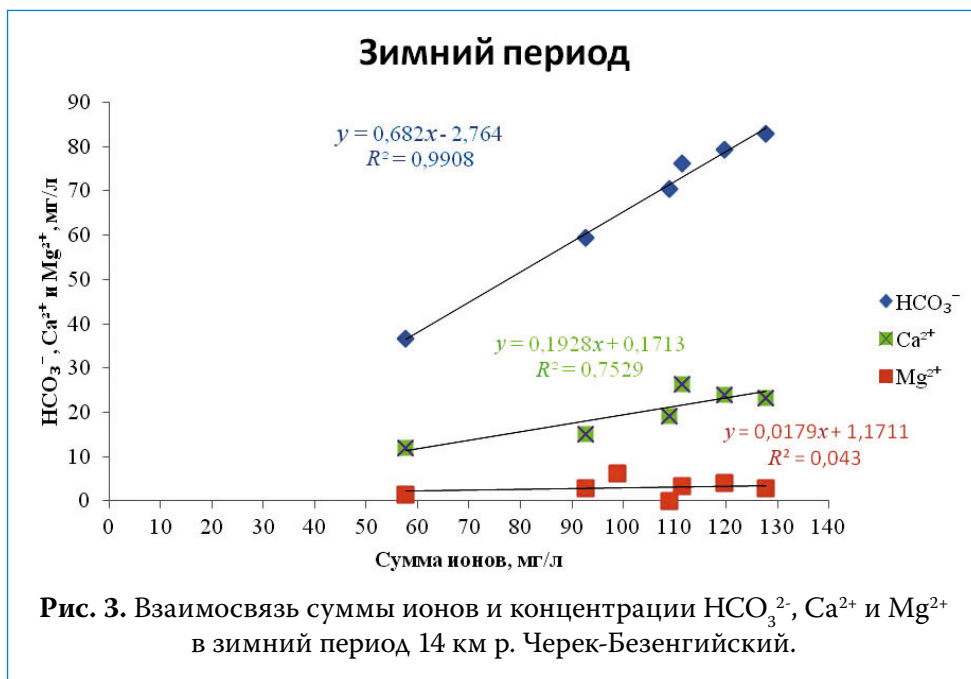
Чем больше значение коэффициента вариации, тем относительно больший разброс и меньшая выравненность исследуемых измерений. Если коэффициент вариации меньше 10 %, изменчивость вариационного ряда принято считать незначительной; от 10 % до 20 % – средней; больше 20 % и меньше 30 % – значительной. Если коэффициент вариации превышает 33 %, это говорит о неоднородности информации и необходимости исключения самых больших и самых маленьких значений. Однако данное деление по

значению коэффициента вариации применяется для распределений близких к нормальному, распределение гидрохимических показателей не всегда бывает нормальным, особенно если речь идет о высокогорных водосборах, которые характеризуются высотной зональностью.

При определении погрешностей использовали критерий Диксона для доверительной вероятности $P=0,95$ и числа измерений для летнего паводка $n=9$, зимней межени $n=7$. Данные обрабатывали программой Microsoft Excel 7.0.

При изучении изменчивости ионного стока в различные фазы водного режима выявлено, что концентрации литогенных ионов не превышают значений ПДК. Наблюдается колебание их концентраций, которое, как правило, является следствием флуктуации водного стока. Как известно, основная часть стока растворенных веществ приходится на главные ионы, кроме того, преимущественно ими же представлена денудационная часть растворенного материала. С увеличением высоты водосбора слабоустойчивые к химическому разложению породы подвержены сильной химической денудации. При этом сток растворенных веществ при переходе от низменных равнин к высоким горным массивам увеличивается в среднем в 1,7–2,3 раза [7]. Несомненно, жидкий сток является важным фактором, влияющим на увеличение стока растворенных веществ с увеличением высоты рельефа. Чем больше высота рельефа, тем больше величина жидкого стока. В целом, чем больше жидкий сток, тем меньше минерализация рек, т. к. величина водного стока оказывает разбавляющее действие, концентрация ионов в единице объема воды уменьшается. Если проследить за изменением минерализации от более высоких отметок рельефа к более низким, то она увеличивается. Такая закономерность для р. Черек-Безенгийский наблюдается только в летний ледниковый паводок. Причина – обогащение воды растворенными веществами при движении стока вниз по склонам, что обусловлено длительным временным контактом речных вод с горной породой. В зимнюю межень для р. Черек-Безенгийский эта закономерность не прослеживается. Таким образом, увеличение минерализации по длине реки не отмечается, хотя, если рассматривать минерализацию по сезонам, в зимнюю межень она больше в 1,5 раза, чем в летний паводок, что может быть связано с переходом реки на грунтовое питание и отсутствием разбавляющего фактора. В ходе обработки данных по содержанию основных литогенных ионов методами математической статистики получены следующие результаты (рис. 1–4, табл. 3, 4).





Коэффициент аппроксимации ионов Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^{2-} в летний период равен 0,2; 0,4 и 0,7 соответственно. Для зимнего периода коэффициент аппроксимации ионов Ca^{2+} и HCO_3^{2-} составляет 0,9, что свидетельствует о едином источнике их происхождения (горные породы). Коэффициент аппроксимации хлорид и сульфат-ионов 0,1, взаимосвязь их концентрации с суммой ионов незначительна.

Изменчивость концентрации ионов загрязняющих веществ в речной воде на ненарушенных антропогенным воздействием территориях в основном обусловлена их трансграничным переносом с последующим выпадением на водосборе. К примеру, в летний период превышение концентрации ионов аммония может быть обусловлено его попаданием в атмосферу с сельскохозяйственных угодий [8, 9].

Среди азотсодержащих биогенных элементов превышение ПДК наблюдается у аммонийного иона, значение которого у истока реки в летний паводок в течение 9 лет трижды превышало значение ПДК, а в зимнюю межень – один раз (см. табл. 3, 4).

Поступление в атмосферу природных веществ (продуктов ветровой эрозии, летучих соединений) происходит непосредственно с поверхности земли. Зимой наблюдается повышение концентрации различных химических веществ в атмосфере, обусловленное ухудшением метеорологических условий рассеивания примесей, замедлением химических процессов трансформации веществ при низкой температуре воздуха. По этим причинам в снежном покрове накапливается основная масса атмосферных ионов загрязняющих веществ [10].

Исследуемый водосбор является высокогорным, р. Черек-Безенгийский вытекает непосредственно из ледника Уллу-Чиран. Снежный покров здесь практически не тает до мая, аккумулирует и сохраняет в себе все загрязняющие атмосферу ионы. В летний паводок с интенсивным таянием снежного покрова содержащиеся в нем ионы попадают в сток реки. В дальнейшем происходит разбавление воды в реке за счет многочисленных ручьев и притоков, вследствие чего в других пунктах отбора проб воды превышения ПДК по аммонийному иону не наблюдается.

Результаты исследования могут быть использованы для обобщения данных во времени и пространстве и предоставления систематической информации при разработке региональных или бассейновых показателей качества воды.

Таблица 3. Гидрохимические и статистические показатели в период летнего паводка р. Черек-Безенгийский в период летнего паводка

Пункты отбора	Значения pH и концентрации ионов, мг/л	Значения показателей в указанные годы											Статистические показатели			
		2004	2005	2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	m	σ	s	C _v		
р. Черек-Безенгийский, исток	pH	6,50	7,15	7,35	7,20	6,70	7,30	7,60	7,70	7,97	7,3	0,2	0,5	0,06		
	HCO ₃ ⁻	20,74	28,46	18,30	22,50	24,40	53,7	42,70	30,50	46,36	32,0	158,5	12,6	0,39		
	SO ₄ ²⁻	18,72	10,27	21,60	15,80	5,28	5,76	4,32	6,91	1,92	10,1	49,0	7,0	0,70		
	Cl ⁻	0,21	0,11	0,04	0,12	0,64	1,06	0,17	1,06	2,48*	0,4	0,2	0,4	1,01		
	Ca ²⁺	2,80	2,20	9,62	4,90	9,62	11,2	9,62	11,22	9,22	7,8	12,5	3,5	0,45		
	Mg ²⁺	4,13	0,44	0,50	0,97	0,97	2,92	2,92	2,43	2,19	1,9	1,7	1,3	0,7		
	NO ₂ ⁻	0,088	0,00	0,00	0,05	0,013	0,00	0,008	0,00	0,015	0,019	0,001	0,030	1,6		
	NO ₃ ⁻	0,68	3,72	4,65	2,20	3,41	3,47	3,47	2,79	4,34	3,2	1,4	1,2	0,4		
	NH ₄ ⁺	0,72	0,32	0,00	0,52	0,086	1,44	0,06	0,00	0,18	0,4	0,2	0,5	1,3		
	Σионов	55,25	49,44	55,36	45,29	44,27	80,9	63,35	54,91	65,18	57,1	130,5	11,4	0,2		
р. Черек-Безенгийский, до впадения в р. Мижирги, 1,2 км	pH	6,85	7,5	7,75	7,70	7,15	7,40	6,80	8,07	8,44	7,5	0,3	0,5	0,07		
	HCO ₃ ⁻	26,84	38,63	21,35	36,30	43,92	34,2	21,35	33,55	43,92	33,3	73,9	8,6	0,26		
	SO ₄ ²⁻	6,72	9,00	22,80	15,20	6,24	9,12	4,56	6,62	5,76	9,6	34,3	5,9	0,61		
	Cl ⁻	0,00	0,014	0,025	0,00	0,36	0,89	0,035	1,06	2,13	0,5	0,5	0,7	1,47		
	Ca ²⁺	40,00*	20,00	10,4	14,20	13,63	21,6	7,21	12,02	8,82	13,5	26,0	5,1	0,38		
	Mg ²⁺	0,00	3,80	0,97	2,84	0,97	4,37	0,50	2,43	2,43	2,0	2,3	1,5	0,7		
	NO ₂ ⁻	0,084	0,006	0,004	0,008	0,046	0	0,009	0,001	0,013	0,019	0,0008	0,028	1,5		
	NO ₃ ⁻	0,56	3,10	2,90	3,84	3,41	2,79	0,48	0,67	5,33	2,6	2,8	1,7	0,7		
	NH ₄ ⁺	0,96*	0,16	0,05	0,15	0,45	0,11	0,06	0,00	0,13	0,1	0,02	0,1	1,0		
	Σионов	75,94	75,19	59,20	68,53	69,73	105,37	34,81	56,35	69,56	68,30	353,86	18,8	0,3		

Примечание: показатели, отмеченные знаком *, являются погрешностями.

Таблица 4. Гидрохимические и статистические показатели воды
р. Черек-Безенгийский в период зимней межени

Пункты отбора	Значения pH и концентрация ионов, мг/л	Значения показателей в указанные годы						Статистические показатели				
		2006	2008	2010	2011	2012	2013	2014	m	σ	s	C _v
р. Черек-Безенгийский, источник	pH	7,5	7,15	8,20	7,90	6,95	7,32	8,33	7,6	0,3	0,53	0,07
	HCO ₃ ⁻	64,05	24,40	77,05	82,35	30,50	73,20	71,67	60,5	542,2	23,3	0,39
	SO ₄ ²⁻	23,04	8,16	9,60	6,72	3,84	9,68	24,00	12,1	64,3	8,02	0,66
	Cl ⁻	0,32	0,89	0,64	1,78	7,10	7,10	3,19	3,0	8,7	2,95	0,98
	Ca ²⁺	19,23	6,40	24,85	27,25	12,02	26,45	30,46	21,0	78,3	8,85	0,42
	Mg ²⁺	0,12	1,00	2,92	2,92	1,94	4,37	5,35	2,7	3,3	1,83	0,7
	NO ₂ ⁻	0,00	0,013	0,008	0,01	0,001	0,01	0,005	0,007	0,000	0,01	0,8
	NO ₃ ⁻	1,55	5,77	3,91	4,34	4,00	6,20	5,89	4,5	2,6	1,62	0,4
	NH ₄ ⁻	0,09	0,07	0,086	0,12	0,74*	0,12	0,15	0,1	0,0	0,03	0,3
	Σионов	112,31	47,7	119,5	125,5	55,9	120,8	134,7	102,3	1243,1	35,26	0,3
р. Черек-Безенгийский, до впадения в р. Мижирги, 1,2 км	pH	7,60	7,80	8,15	7,55	6,75	7,64	8,38	7,7	0,3	0,5	0,07
	HCO ₃ ⁻	70,45	59,50	82,96	79,30	36,60	76,25	61,00	66,6	253,1	15,9	0,24
	SO ₄ ²⁻	6,24	9,30	12,00	7,44	4,80	9,68	9,80	8,5	6,0	2,4	0,29
	Cl ⁻	0,28	1,06	0,36	0,89	1,95	2,60	0,14	1,0	0,9	0,9	0,89
	Ca ²⁺	19,24	15,20	23,25	24,05	12,02	26,45	21,64	20,3	26,3	5,1	0,25
	Mg ²⁺	0,00	2,92	2,92	3,98	1,46	3,40	6,32	3,0	3,9	2,0	0,7
	NO ₂ ⁻	0,00	(0,022)*	0,008	0,0045	0,003	0,006	0,002	0,004	0,0000	0,003	0,7
	NO ₃ ⁻	3,10	4,65	4,15	4,03	2,17	4,46	6,20	4,1	1,6	1,3	0,3
	NH ₄ ⁻	0,00	0,036	0,09	0,009	(1,08)*	0,10	0,15	0,1	0,00	0,1	0,9
	Σионов	109,04	92,69	127,73	119,70	57,68	111,40	98,90	102,4	528,73	23,0	0,2

Примечание: показатели, отмеченные знаком *, являются погрешностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Верниченко А.А. Классификации поверхностных вод, основывающиеся на оценке их качественного состояния / Комплексные оценки качества поверхностных вод. Л.: Гидрометиздат, 1984. С. 14–43.
2. Методические указания по разработке нормативов допустимого воздействия на водные объекты. Утв. МПР России 12.12.2007. № 328.
3. Материалы Объединенного пленума Научного совета ОБН РАН по гидробиологии и ихтиологии, Гидробиологического общества при РАН и Межведомственной ихтиологической комиссии. Москва, 30 марта 2011 г. М.: Товарищество науч. изданий КМК, 2011. 196 с.
4. Газаев М.А., Атабиева Ф.А., Жинжакова Л.З., Газаев М.М. Пространственно-временная изменчивость показателей качества воды высокогорной реки Черек-Безенгийский // Водное хозяйство России. 2014. № 1. С. 23–32.
5. Газаев М.А., Атабиева Ф.А., Агоева Э.А., Иттиев А.Б. Гидрологические проблемы высокогорных рек Северного склона Большого Кавказа // Проблемы региональной экологии. 2014. № 2. С. 6–10.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометиздат, 1973. С.47.
7. Денмухаметов Р.Р. Влияние орографического фактора на сток растворенных веществ равнинных и горных рек мира [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 2 (29.04.2013). Режим доступа: www.science-education.ru/108-8995.
8. Коняев С.В. Многолетняя изменчивость ионного стока рек Северного Кавказа как следствие антропогенного воздействия: Автореф. ... дис. канд. геогр. наук. – Казань, 2002. 10 с.
9. Суслов О.Н., Ярмак Л.П., Давыдов А.В. Климатические и гидрогеологические факторы формирования ионного стока рек междуречья Кубани и Дона // Водное хозяйство России. 2014. № 1. С. 33–49.
10. Роголева Н.О. Оценка загрязненности и биотоксичности снежного покрова парков г. Самары. Вестник СамГУ. Самара. 2009. № 4 (70) С. 198–205.

Сведения об авторах:

Газаев Хаджи-Мурат Мухтарович, и. о. директора, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, Кабардино-Балкарская республика, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78; e-mail: kb_zarovednik@ Rambler.ru

Атабиева Фатима Адраевна, канд. хим. наук, ведущий научный сотрудник, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, Кабардино-Балкарская республика, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78.

Кучменова Ирина Ибрагимовна, младший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, Кабардино-Балкарская республика, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78.

Жинжакова Лилия Зуберовна, старший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, Кабардино-Балкарская республика, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78.