

УДК 504.45:543.3

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ВОДЫ ВЫСОКОГОРНОЙ
РЕКИ ЧЕРЕК-БЕЗЕНГИЙСКИЙ**

© 2014 г. М.А. Газаев, Ф.А. Атабиева, Л.З. Жинжакова,
М.М. Газаев

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

Ключевые слова: высокогорные водосборы, химический анализ воды р. Черек-Безенгийский, концентрация главных ионов, гидропосты.



М.А. Газаев



Ф.А. Атабиева



Л.З. Жинжакова



М.М. Газаев

Представлены результаты мониторинга химического состава вод высокогорной р. Черек-Безенгийский в пределах Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника. В результате проведенных исследований выявлены некоторые закономерности в пространственно-временной изменчивости показателей качества воды.

Кабардино-Балкарский высокогорный природный заповедник площадью 82,6 тыс. га образован в 1976 г. и является единственным высокогорным заповедником Европы. Основную часть территории занимают высокогорья. Главный Кавказский хребет здесь образует самую высокую цепь Кавказа,

Водное хозяйство России № 1, 2014

Водное хозяйство России

включая и знаменитую Безенгийскую стену (12 км), состоящую из таких вершин, как Гистола (4859 м), Катын-Тау (4858,8 м), Джанги-Тау (5058 м), пик Пушкина (5033 м) и Шхара (5068 м). Боковой хребет не уступает по высоте Главному хребту с самой высокой точкой заповедника вершинами Дых-Тау (5204 м) и Коштан-Тау (5152 м). В заповеднике 256 ледников, из них 194 имеют площадь по 10 га. Общая площадь оледенения, включая соседние скальные выходы безжизненного нивального пояса, составляет 45 502 га или 55,3 % территории заповедника. Поэтому в заповеднике много ручьев и рек, главные из которых Черек-Балкарский, Черек-Безенгийский (Хуламский) и Чегем. Эти реки типично горные, вверху имеющие большие скорости течения. Как правило, они несут много взвесей, которые откладываются в нижней части рек, в связи с чем их русла оказываются расположенными выше прилегающей местности. В период половодья и паводков это приводит к разливам. Водный режим рек определяется в основном таянием ледников и высокогорных снегов. Значительную роль играют и грунтовые воды, влияние дождевых осадков на питание рек невелико.

Годовой ход уровня воды характеризуется продолжительным половодьем в теплую часть года и устойчивой зимней меженью. Общий подъем уровня начинается обычно в начале апреля и продолжается с возрастающей интенсивностью до июля, достигая в этом месяце наибольших значений. Высокие уровни удерживаются только в течение июля-августа, а затем начинается их уменьшение, продолжающееся до ноября-декабря. Зимняя межень охватывает период с декабря по март и отличается устойчивыми уровнями воды [1]. В целом величины водного баланса для гор в основном больше, чем для других физико-географических регионов, градиенты намного более резкие, объемы транспортируемых материалов обычно велики и деградация бассейнов происходит быстрее. Выщелачивание биогенных веществ также идет с большей скоростью, обедняя почву и загрязняя воду. Все это отрицательно сказывается на устойчивости горных экосистем.

В условиях глобального потепления климата изучение влияния этих процессов на таяние ледников, изменение снежного покрова и, как следствие, на гидрологию и гидрохимию высокогорных водосборов имеет первостепенное значение для обнаружения каких-либо предупреждающих отклонений, т. к. горные экосистемы более чувствительны к изменениям окружающей среды. Однако современных данных о характерных уровнях и расходах воды в высокогорной части рек нет из-за отсутствия гидрологических постов. С учетом вертикальной зональности гор плотность гидропостов здесь должна быть выше, чем на равнинных территориях.

Вопросы недостаточной гидрологической сети в высокогорье (северный склон Большого Кавказа) неоднократно обсуждались на разных уровнях власти [2, 3], но проблема остается нерешенной.

Гидрохимия названных выше высокогорных водосборов также не изучена. Как известно, тип подстилающих горных пород, их химическое выветривание и мощность почвы влияют на сток. Многие типы коренных пород водопроницаемы настолько, что любая просачивающаяся вода (там, где есть почва) движется в виде подземного стока по поверхности раздела почва – коренная порода. Известняковые коренные породы имеют каналы растворения, которые могут пропускать любую просачивающуюся почвенную воду в глубинные хранилища или в подземные речные каналы (карст). Так как горные породы Северного склона центральной части Большого Кавказа сложены из гнейсов, кварцитов, кристаллических сланцев докембрия, гранитов, диоритов, то можно предположить присутствие в поверхностных водах ионов: HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , биогенных веществ NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} , кремниевой кислоты и силикат-иона, тяжелых металлов Zn, Mn, Cr, Pb, Cu, Ni, Ag, Cd.

В настоящее время сотрудниками научного отдела Кабардино-Балкарского государственного высокогорного природного заповедника изучается гидрохимический состав вод высокогорной части р. Черек-Безенгийский, которая в пределах заповедника и ее охранной зоны представлена отрезком своего течения от истока (рисунок) протяженностью 14 км. Длина реки 51 км,



Рисунок. Исток р. Черек-Безенгийский.

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

№	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

площадь водосбора 627 км², средняя высота водосбора 2480 м, она является левым притоком р. Черек. Пункты отбора воды перечислены в табл. 1.

Мониторинг ведется с 2004 г. Его целью является выделение и анализ характерных сезонных изменений качества воды по отдельным показателям химического состава, оценка изменения качества воды по выделяемым сезонам и по длине реки в пределах многолетия. Пробы воды отбирали в основные фазы гидрологического режима: зимняя межень и ледниковый паводок. Проведено изучение содержания главных ионов HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} , общей жесткости воды, концентраций Na^+ , K^+ , биогенных веществ NO_2^- , NO_3^- , NH_4^+ . С 2013 г. исследуются воды на содержание PO_4^{3-} , кремниевой кислоты и силикат-иона, а также тяжелых металлов Zn, Mn, Cr, Pb, Cu, Ni, Ag, Cd.

При отборе проб измеряли температуру воды и воздуха, т. к. водосбор характеризуется высотной зональностью. При проведении анализов использовали спектрофотометрические и аналитические методы, метод прямой потенциометрии с применением ионоселективных электродов [4–7].

Преобладающими ионами в исследуемый период являются гидрокарбонат и кальция ионы. Максимальное содержание гидрокарбонатных ионов наблюдается в зимнюю межень, что, вероятно, связано с переходом реки на грунтовое питание, минимальное значение наблюдается в ледниковый паводок. Изменение содержания гидрокарбонатных ионов и ионов кальция от истока к устью в основном соответствует ходу кривой минерализации. С увеличением концентрации HCO_3^- и Ca^{2+} от истока к устью соответственно увеличивается величина минерализации. По классификации О.А. Алекина [7] исследуемые воды р. Черек-Безенгийский и ее притоков относятся к маломинерализованным (до 200 мг/л), т. е. пресным.

Температура воды в реке от истока к устью изменялась в значительных пределах. В ледниковый паводок в полдень у истока она колеблется от +2 до +3 °С; в 9 км от истока достигает +6 °С; в 14 км температура воды колеблется от +7 до +9 °С. В зимнюю межень у истока температура воды колеблется от 0 до +3 °С; в 9 км от +4 до +6 °С; в 14 км от +4 до +7 °С. Полученные результаты представлены в табл. 2–4.

Таблица 2. Химический состав главных ионов в воде р. Черек-Безенгийский в ледниковый паводок

Водный объект (пункт), км	Год	рН, ед. рН	Концентрация ионов, мг/л				
			HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
р. Черек-Безенгийский, исток	2005	7,15	28,46	10,27	0,11	2,20	0,44
	2006	7,35	18,30	21,60	0,040	9,62	0,50
	2008	7,20	22,5	15,8	0,12	4,9	0,97
	2010	6,70	24,40	5,28	0,64	9,62	0,97
ручей Сюеме-суу, левый приток (неледниковый)	2005	7,35	18,30	24,0	0,032	4,20	0,60
	2006	7,80	21,35	5,04	0,071	11,2	0,5
	2008	7,32	21,35	10,35	0,07	7,13	1,78
	2010	6,6	14,64	5,09	0,0	5,61	0,97
р. Черек-Безенгийский, до впадения р. Мижирги, 1,2 км	2005	7,45	38,63	5,04	0,014	8,00	1,29
	2006	7,45	18,30	22,80	0,28	9,62	0,50
	2008	7,23	28,74	13,3	0,12	7,20	1,57
	2010	6,75	21,96	6,86	0,17	8,02	0,97
р. Мижирги, правый приток (ледниковый)	2005	7,3	22,37	9,84	0,032	3,20	0,64
	2006	7,3	28,30	12,0	0,028	7,90	0,50
	2008	7,1	24,21	9,07	0,06	5,03	1,51
	2010	7,05	24,40	0	0,17	7,21	0,97
р. Черек-Безенгийский, 9 км	2005	7,35	32,53	9,60	0,014	16,00	2,28
	2006	7,85	30,50	22,32	0,025	9,62	11,95
	2008	7,6	32,4	10,2	0,02	12,8	2,56
	2010	7,2	29,28	4,32	0,17	9,62	0,97
р. Черек-Безенгийский, 14 км	2005	7,50	38,63	9,60	0,014	20,00	3,80
	2006	7,75	21,35	22,80	0,025	10,4	0,97
	2008	7,70	36,3	15,2	0,0	14,2	2,84
	2010	7,15	43,92	6,24	0,36	13,63	0,97

Из таблиц видно, что содержание карбонат (HCO₃⁻)-ионов по длине реки в ледниковый паводок увеличивается, в зимнюю межень такая закономерность не наблюдается, но если сравнить концентрации карбонат-ионов в ледниковый паводок и в зимнюю межень, то в зимнюю межень их концентрация в 2–3 раза больше. Для ионов кальция Ca²⁺ наблюдается аналогичная закономерность, но в зимнюю межень его концентрация выше не в 2–3, а в среднем в 1,5 раза. В таблицах представлены не все годы, но указанные закономерности сохраняются.

Для ионов SO₄²⁻, Cl⁻, Mg²⁺ каких-либо закономерностей ни по длине реки, ни по сезонам не выявлено. Значение рН по длине реки в летний паводок возрастает, но незначительно, в зимнюю межень такая закономерность не наблюдается. Проводили также анализ на содержание биогенных веществ (NO₂⁻, NO₃⁻, NH₄⁺), являющихся важными показателями загрязнения воды. Из полученных данных (см. табл. 4) следует, что в период интенсивного таяния ледников, т. е. в ледниковый паводок, значения концентраций аммоний-ионов значительно выше их значений в зимнюю межень.

Таблица 3. Химический состав главных ионов в воде р. Черек-Безенгийский в зимнюю межень

Водный объект (пункт), км	Год	рН, ед. рН	Концентрация ионов, мг/л				
			НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Сl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺
р. Черек-Безенгийский, исток	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	7,50	64,05	23,04	0,32	19,23	2,92
	2008	7,15	24,40	8,16	0,89	6,40	1,0
	2010	8,20	77,05	9,60	0,64	24,85	2,92
ручей Сюеме-суу, левый приток (неледниковый)	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	6,7	54,90	25,2	0,32	5,62	0,0012
	2008	7,2	21,35	5,84	0,53	4,80	1,5
	2010	7,5	61,0	17,28	0	24,85	4,86
р. Черек-Безенгийский, до впадения р. Мижирги, 1,2 км	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	7,50	79,30	24,0	0,36	17,63	2,5
	2008	7,35	24,40	6,30	0,89	7,20	0,5
	2010	7,60	78,08	8,16	0,89	24,85	0,97
р. Мижирги, правый приток (ледниковый)	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	7,3	48,80	24,0	0,28	16,83	1,94
	2008	7,6	41,20	3,65	0,39	11,2	1,94
	2010	7,95	80,52	14,40	0	22,44	6,32
р. Черек-Безенгийский, 9 км	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	7,65	65,60	6,72	0,28	20,04	8,26
	2008	7,70	67,10	6,30	0,39	20,8	1,0
	2010	8,15	92,72	8,16	0	21,64	1,94
р. Черек-Безенгийский, 14 км	2005	–	–	–	–	–	–
	2006	7,60	70,45	6,24	0,28	19,24	9,23
	2008	7,80	59,50	9,30	1,06	15,2	2,92
	2010	8,15	82,96	12,0	0,36	23,25	2,92

Примечание: пробы воды в зимнюю межень 2005 г. не были отобраны в связи с недоступностью мест отбора.

Присутствие в незагрязненных поверхностных водах ионов аммония связано, главным образом, с процессами биохимической деградации белковых веществ, дезаминирования аминокислот, разложения мочевины. Естественными источниками аммиака выступают прижизненные выделения гидробионтов. Кроме того, ионы аммония могут образовываться в результате анаэробных процессов восстановления нитратов и нитритов. Существенная временная пространственная изменчивость NH_4^+ (см. табл. 3) в водных объектах, где отсутствует прямое техногенное воздействие, обуславливается его попаданием в атмосферу с сельскохозяйственных угодий и через атмосферные осадки в водные объекты, что хорошо показано в работе [8].

Сезонные колебания концентрации ионов аммония характеризуются обычно понижением весной, в период интенсивной фотосинтетической деятельности фитопланктона, и повышением летом при усилении процессов

Таблица 4. Распределение концентрации неорганических соединений азота в р. Черек-Безенгийский и ее притоках в ледниковый паводок и зимнюю межень за 2005–2010 гг.

Водный объект (пункт), км	Год	Концентрация ионов, мг/л					
		Ледниковый паводок			Зимняя межень		
		NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺
р. Черек-Безенгийский, исток	2005	0	3,72	0,32	–	–	–
	2006	0	4,65	0	0	1,55	0,09
	2008	0,05	2,20	0,52	0,013	5,77	0,072
	2010	0,013	3,41	0,086	0,076	3,91	0,086
ручей Сюеме-суу, левый приток (неледниковый)	2005	0	3,40	0,19	–	–	–
	2006	0,004	2,91	0,0	0	2,17	0,1
	2008	0,012	1,4	0,08	0,045	4,46	0,5
	2010	0	2,6	0,16	0,0045	4,15	0,103
р. Черек-Безенгийский, до впадения р. Мижирги, 1,2 км	2005	0,002	3,52	0,31	–	–	–
	2006	0,004	2,48	0,45	0	2,48	0,032
	2008	0,018	1,12	0,14	0,02	3,10	0,02
	2010	0,01	2,60	0,17	0,005	3,41	0,09
р. Мижирги, правый приток (ледниковый)	2005	0,0092	3,40	0,2	–	–	–
	2006	0	2,91	0,12	0	2,17	0,1
	2008	0,06	2,42	0,18	0,045	4,46	0,5
	2010	0,004	3,41	0,1	0,0045	4,15	0,103
р. Черек-Безенгийский, 9 км	2005	0,0069	3,10	0,18	–	–	–
	2006	0,004	2,90	0,59	0	2,79	0
	2008	0,022	5,24	0,18	0,011	4,65	0,02
	2010	0,0043	2,79	0,17	0,058	3,91	0,093
р. Черек-Безенгийский, 14 км	2005	0,006	3,10	0,16	–	–	–
	2006	0,004	2,9	0,05	0	3,1	0
	2008	0,008	3,84	0,15	0,022	4,65	0,036
	2010	0,046	3,41	0,45	0,081	4,15	0,09

бактериального разложения органического вещества в периоды отмирания водных организмов, особенно в зонах их скопления: в придонном слое водоема, в слоях повышенной плотности фито- и бактериопланктона [9].

Содержание нитрит- и нитрат-ионов, наоборот, в ледниковый паводок незначительно ниже, чем в зимнюю межень. По длине реки закономерности не выявлены.

При сравнении химического состава двух притоков Сюеме-суу (неледниковый) и Мижирги (ледниковый приток) видно, что в неледниковом притоке содержание карбонат-ионов в зимнюю межень и в ледниковый паводок меньше чем в Мижирги, сульфат-ионов, наоборот, чуть больше. Минерализация, как обычно, для обоих притоков выше в зимнюю межень, но в ледниковом притоке Мижирги этот показатель выше.

Изучение в течение нескольких лет химического состава снеговой воды позволило сделать предварительные выводы о количественном содержании

ионов, поступающих в снежный покров с атмосферными осадками. При проведении исследований снеговой воды применяли те же методы физико-химического анализа, что и при анализе проб речной воды. Средние значения концентраций составили: гидрокарбонаты 7,49 мг/л, сульфаты и хлориды 2,37 и 0,13 мг/л соответственно. Концентрации кальция и магния составили 1,38 и 0,30 мг/л. Среднее содержание неорганического азота равно 0,35 мг/л по нитратам, 0,027 мг/л по аммонии и 0,003 мг/л по нитритам. Величина рН (средняя) составила 6,1.

Основными природными источниками оксидов азота в атмосфере являются окисление аммиака и азот при разрядах молнии. Также поставщиком оксидов азота могут быть антропогенные выбросы, переносимые облаками и туманом.

Важной частью атмосферного цикла соединений азота является образование азотной кислоты взаимодействием диоксида азота с гидроксидным радикалом, которая выводится из тропосферы с атмосферными осадками в виде растворов HNO_3 и ее солей. Среди нитратов, присутствующих в атмосфере, основное количество составляет азотнокислый аммоний NH_4NO_3 , который, как и в случае сульфата аммония, образуется при взаимодействии аэрозолей азотной кислоты с NH_3 . В тропосфере аммиачный азот представлен в основном содержащимися в аэрозолях ионами аммония и выводится из атмосферы с атмосферными осадками и в результате процессов сухого осаждения.

Следует отметить, что на поверхности снежного покрова (глубина 0–5 см) территории заповедника минерализация ионов больше, чем на глубине 15–25 см.

В итоге проведенного исследования можно сделать следующие выводы.

По длине реки:

- в ледниковый паводок наблюдается возрастание концентраций карбонат- и кальций-ионов;
- для всех других ионов на рассматриваемой части реки такая закономерность не наблюдается.

По сезонам:

- концентрации карбонат- и кальций-ионов в зимнюю межень больше, чем в ледниковый паводок;
- концентрация аммония ионов значительно выше в ледниковый паводок;
- концентрации нитрит- и нитрат-ионов в ледниковый паводок ниже (незначительно), чем в зимнюю межень;
- минерализация вод выше в зимнюю межень.

Научные сотрудники заповедника осуществляют мониторинг химического состава вод высокогорной р. Черек-Безенгийский. Для более деталь-

ного изучения водного режима реки эти данные необходимо связать с данными соответствующего гидрологического мониторинга, но он не проводится из-за отсутствия гидропостов. О необходимости безотлагательного решения водных проблем в Российской Федерации свидетельствует принятие в последние годы ряда важнейших федеральных документов: Водного кодекса Российской Федерации, Водной стратегии Российской Федерации на период до 2020 года, Стратегии деятельности в области гидрометеорологии и смежных с ней областях на период до 2030 года (с учетом аспектов изменения климата). В 2012 г. Постановлением Правительства РФ утверждена Федеральная целевая программа «Развитие водохозяйственного комплекса Российской Федерации в 2012–2020 годах». В этих документах в числе многих актуальных проблем сформулированы приоритетные задачи по развитию системы государственного мониторинга водных объектов, включая модернизацию государственной наблюдательной сети. В указанную программу подана заявка о необходимости создания гидропостов на территории Кабардино-Балкарского высокогорного государственного природного заповедника. Наличие гидропостов позволит проводить мониторинговые исследования по определению особенностей гидрологического режима рек, протекающих на разных высотных зонах; прогнозировать изменения в стоках рек с последующей разработкой перспектив развития водопотребляющих отраслей; совершенствовать систему государственного контроля и мониторинга климатических изменений; получать данные для борьбы со стихийными бедствиями; прогнозировать сценарий будущих климатических изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 8. Северный Кавказ. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 46 с.
2. О разработке национальной программы «Вода России – XXI век»: проект докл. раб. группы Госсовета. 2003. Режим доступа: <http://www.donland.ru/Default.aspx?pageid=76264>.
3. Тр. науч.-практ. конф. «Проблемы гидрометеорологии горных территорий Северного Кавказа и пути их решения». Гузерибль, 2006.
4. Унифицированные методы мониторинга фоновое загрязнения природной среды. М.: Гидрометеиздат, 1986. 178 с.
5. Фритц Дж., Шенк Г. Количественный анализ. М.: Мир, 1978. 535 с.
6. Лурье Ю.Ю. Унифицированные методы анализа вод. М.: Химия, 1971. 375 с.
7. Алексин О.А., Семенов А.Д., Скопинцев Б.А. Руководство по химическому анализу вод суши. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 268 с.
8. 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.
9. Массовая концентрация аммонийного азота в водах. Методика измерений потенциометрическим методом с ионселективными электродами. Взам. РД 52.24.394–95. Введ. 01.06.2012.

Сведения об авторах:

Газаев Мухтар Алиевич, д-р хим. наук, проф., директор, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, КБР, 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, КБР, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78

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

Газаев Марат Мухтарович, младший научный сотрудник, Кабардино-Балкарский государственный высокогорный природный заповедник, 361800, КБР, Черекский район, пос. Кашхатау, ул. Мечиева, 78