

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2025-2-85-104>

УДК 551.578.467

## Исследование состава снежного покрова в различных геоморфологических зонах Кавказского региона

Э.А. Агоева<sup>1,2</sup>, Л.С. Ламашвили<sup>1,2</sup>, Р.М. Кумыков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Кабардино-Балкарский Государственный высокогорный заповедник, п. Капхатау, Россия;

<sup>2</sup>Кабардино-Балкарский Государственный университет имени Х.М. Бербекова, г. Нальчик, Россия;

<sup>3</sup>Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Коква, г. Нальчик, Россия  
*eleonora\_agoeva@mail.ru*

Проведены исследования химического состава снежного покрова в различных геоморфологических зонах Кабардино-Балкарской Республики фонового и импактного воздействия. Проведён анализ пространственного распределения концентраций компонентов и сравнение полученных данных с нормативно-техническими документами, регламентирующими гигиенические требования. Исследования показали, что снежный покров в соответствии с классификацией Алёкина О.А. можно отнести к следующему типу: гидрокарбонатно-натриевому I типа, гидрокарбонатно-кальциевому и гидрокарбонатно-аммониевому. Общая жёсткость характеризует талые снежные воды как мягкие. Агрохимические расчётные показатели – коэффициент адсорбции натрия (SAR) и ирригационный коэффициент Стеблера – характеризуют пробы как имеющие низкую опасность для осолонцевания почв и хорошие для применения в орошении. Выявлено, что высокогорная и горная территории являются фоновыми, так как для них определяющим фактором в формировании состава снежного покрова является дальний и региональный перенос растворимых форм компонентов. Преобладающее влияние на химизм снежного покрова фоновых высокогорных и горных территорий оказывает трансграничный перенос морских солей через Главный Кавказский хребет. Химизм снежного покрова равнинных зон Кабардино-Балкарской Республики связан с локальным загрязнением в основном малорастворимыми соединениями.

*Ключевые слова:* Кавказ, Верхне-Балкарское и Черекское ущелья, снежный покров, химический состав, геоморфологические зоны

## Studying the composition of the snow cover in different geomorphological zones in the Caucasus region

E.A. Agoeva<sup>1,2</sup>, L.S. Lamashvili<sup>1,2</sup>, R.M. Kumykov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kabardino-Balkar State Alpine Reserve, Kashkhatau, Russia;

<sup>2</sup> Kabardino-Balkarian State University named  
after H.M. Berbekov, Nalchik, Russia;

<sup>3</sup> Kabardino-Balkarian State Agrarian University named  
after V.M. Kokov, Nalchik, Russia  
*eleonora\_agoeva@mail.ru*

The composition of the snow cover in different geomorphological zones of the Kabardino-Balkarian Republic (KBR) characterized as zones of background and impact effects is studied. The spatial distribution of component concentrations was analyzed, and the resulting data were compared with regulatory and technical documents regulating hygienic requirements. The studies showed that the snow cover in accordance with the classification of O.A. Alekin belongs to the following types: sodium bicarbonate type I, calcium bicarbonate, and ammonium bicarbonate. The total hardness characterizes the snowmelt water as soft. The agrochemical calculated parameters – the sodium adsorption coefficient (SAR) and the Stebler irrigation coefficient – characterized the samples as the ones having a low risk of soil salinization and good for irrigation applications. It was revealed that the high-altitude and mountainous territories are background ones, for which the determining factor in the formation of the snow cover composition is the long-range and regional transfer of soluble forms of components. The predominant influence on the snow cover chemistry in the background high-altitude and mountainous territories is exerted by the transboundary transport of sea salts through the Main Caucasian Ridge. The chemistry of the snow cover of the lowland zones of the KBR is associated with local pollution, mainly with poorly soluble compounds.

*Keywords:* Caucasus, Upper Balkar and Cherek gorges, snow cover, chemical composition, geomorphological zones

## Введение

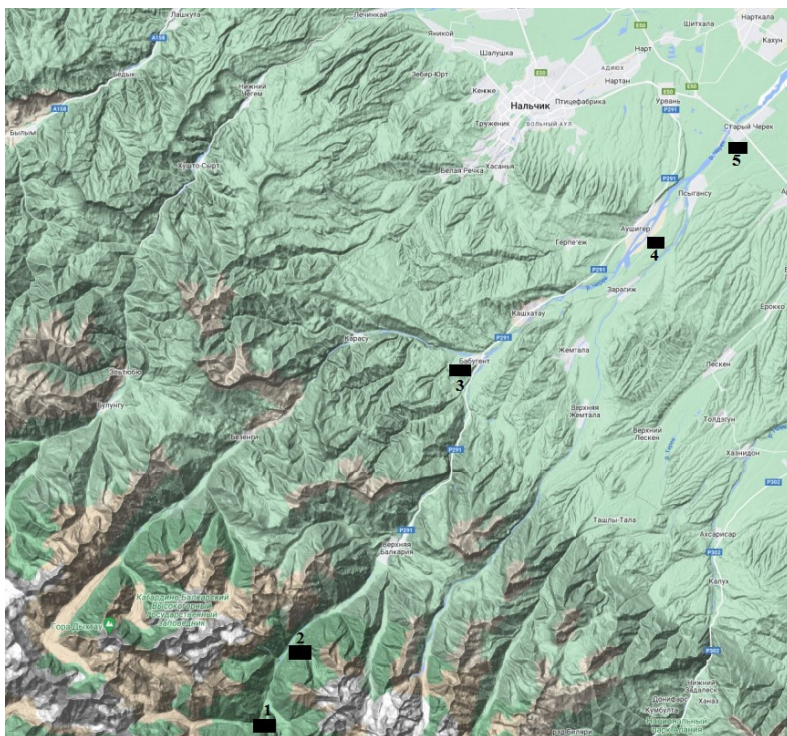
Лёд и снег – это величайшие творения природы, покрывающие ежегодно 1/4 поверхности Земли. В России 80 % необъятных её просторов покрыто снегом в течение 5–10 месяцев в году.

Снег – форма атмосферных осадков, состоящая из мелких кристаллов льда. Это решающий погодный фактор, оказывающий влияние на все отрасли человеческой деятельности, особенно в районах сурового климата. При этом снежный покров можно рассматривать и как часть нивально-гляциальной системы, т. е. как определённое звено в цепи круговорота воды.

Сезонный снежный покров является геологической средой, формирующейся в различных регионах Земли. При формировании снежного покрова в результате протекания адсорбционных процессов происходит очистка атмосферного воздуха, при этом снег является индикатором экологического состояния региона [16, 18, 24].

Для правильной интерпретации данных о химическом составе снежного покрова необходимо знать содержание определяемых компонентов в местах, не испытывающих прямого воздействия антропогенных факторов, т. е. в высокогорной и горной зонах. В связи с этим целью проводимых исследований стало изучение органолептических, химических и радиологических показателей в различных геоморфологических зонах Кабардино-Балкарской Республики (КБР) фонового (1–2 пункта отбора) и импактного (3–5 пунктов отбора) воздействия. Также рассмотрено пространственное распределение концентраций и проведено сравнение полученных данных с нормативно-техническими документами, регламентирующими гигиенические требования.

Объектом исследований стал снежный покров Верхне-Балкарского ущелья, Черекского и Урванского районов (рис. 1, табл. 1).



**Рис. 1.** Карта-схема пунктов отбора проб снежного покрова:

- 1 – Ущелье Верхняя Балкария – “Уштулу”;  
 2 – Ущелье Верхняя Балкария – кордон; 3 – Черекский район, с. Бабугент;  
 4 – Черекский район, с. Аушигер; 5 – Урванский район, с. Старый Черек.

**Fig. 1.** Map diagram of snow cover sampling points.

- 1 – Upper Balkaria Gorge – “Ushtulu”; 2 – Upper Balkaria Gorge – cordon;  
 3 – Cherek district, Babugent village; 4 – Cherek district, village of Aushiger;  
 5 – Urvan district, Stary Cherek village.

**Табл. 1.** Характеристики пунктов отбора проб снежного покрова

**Table 1.** Characteristics of snow cover sampling points

№ зоны	Пункт отбора проб	Геоморфологическая зона	Координаты по GPS	Высота над уровнем моря, м
1.	Ущелье Верхняя Балкария – “Уштулу”	Высокогорье	42°59'02" с. ш. 43°19'37" в. д.	1850
2.	Ущелье Верхняя Балкария – кордон	Горная зона	42°80'60" с. ш. 43°21'50" в. д.	1504
3.	Черекский район, с. Бабугент	Предгорье	43°16'45" с. ш. 43°33'00" в. д.	768
4.	Черекский район, с. Аушигер	Равнина	43°23'45" с. ш. 43°43'54" в. д.	566
5.	Урванский район, с. Старый Черек	Равнина	43°28'17" с. ш. 43°50'48" в. д.	384

Как показано в [9], пространственное распределение загрязняющих веществ в снежном покрове удобно характеризовать тремя картами: распределения концентрации загрязняющих веществ ( $\text{мг/дм}^3$ ); количества загрязняющих веществ, выпавших за время от образования снежного покрова до момента накопления максимума влагозапаса в снеге, так называемой поверхностной плотности ( $\text{т/км}^2$ ); интенсивности выпадения загрязняющих веществ, т. е. плотности солей ( $\text{кг/км}^2 \cdot \text{сут}$ ).

В связи с этим в задачи исследования снежного покрова входило:

- 1) определение пунктов отбора проб и наглядное их отображение на карта-схеме в программе Аксиома 5;
- 2) определение координатной привязки пунктов отбора с помощью GPS;
- 3) отбор проб и изучение состава снежного покрова из разных геоморфологических зон КБР;
- 4) выявление критериев оценки степени загрязнения по показателям, регламентированным в нормативно-технических документах;
- 5) изучение качественного состава для определения дальнейшей программы исследований с целью обнаружения изменений долгосрочного характера;
- 6) определение качества талых снежных вод с точки зрения агрохимии и воздействия на поверхностный слой Земли.

### Научная новизна

Впервые для высокогорной, предгорной, горной и равнинной территорий КБР, а именно Верхне-Балкарского ущелья, Черекского и Урванского районов проведена оценка экологического состояния снежного покрова по органолептическим, химическим и радиометрическим показателям. Ранее результаты проведённых исследований не были опубликованы.

Особо чувствительными ландшафтами, реагирующими на изменения в биосфере в целом, являются высокогорья Кавказа, которые ввиду своей труднодоступности остаются малоизученными [30]. В связи с этим данные исследования актуальны и могут быть использованы в целях получения оценок социально-гигиенического и экологического мониторинга количества токсикантов, выносимых снежным покровом в поверхностные водоёмы и мигрирующих в почву и подземные воды.

### Методология и методы анализа

Ввиду того, что ПДК для токсикантов снежного покрова не регламентированы, оценку качества проб проводили по обоснованным нормативам в воде для рыбохозяйственных водоёмов [22], а также для хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования [12, 27, 28]. Данный подход оправдан тем, что талые снежные воды поступают в период весеннего половодья в высокогорные реки и далее питают по ходу своего

течения равнину западной части КБР. Таким образом, исследования состава снежного покрова включали следующие этапы: отбор проб, поддержание условий их хранения и проведение химического анализа. Гигиенические требования к качеству образцов устанавливались в соответствии с существующими нормативно-техническими документами.

Для более детального и наглядного представления данных о составе снежного покрова нами проведены углублённые исследования, позволяющие рассмотреть его химизм с точки зрения эколого-токсикологического анализа. В соответствие с этим были проведены следующие расчеты:

- плотность солей в снежном покрове ( $P$  мг/м<sup>2</sup>·час);
- среднее поступление компонентов на подстилающую поверхность ( $P_n$  г/м<sup>2</sup>).

- коэффициент концентрации компонента ( $K_c$ ). Данный параметр рассчитывается как отношение реального (аномального) содержания загрязнителя в природном объекте к его фоновому уровню в аналогичном объекте;

- общая нагрузка, создаваемая поступлением каждого компонента в окружающую среду ( $P_{\text{общ}}$  мг/км<sup>2</sup>). Используется при определении поступления конкретных химических элементов в ландшафты воздушным путем;

- коэффициент относительного увеличения общей нагрузки компонента ( $K_p$ );

- коэффициент опасности исследуемых веществ ( $K_o$ ), определяется отношением фактического уровня содержания контролируемого вещества в покровных снежных отложениях к его предельно допустимой концентрации (ПДК);

- сумма коэффициентов опасности исследуемых веществ ( $\sum K_o$ ).

Данный параметр очень важен с точки зрения агрохимии, так как позволяет оценить поступление компонентов с талыми водами в водоёмы и степень опасности таких вод [5, 8, 29];

- суммарный показатель нагрузки компонентов на территорию  $Z_p$ .

В период снеготаяния находящиеся в снеге катионы и анионы мигрируют в поверхностные и подземные воды, донные осадки, почвы и подстилающие их горные породы, причём ареал их распространения значительно превышает контуры геохимических аномалий в снежном покрове. Поэтому исследовано качество талых снежных вод с точки зрения агрохимии и их воздействия на поверхностный слой Земли.

Определён ирригационный коэффициент Стеблера по формуле:

$$K_a = 288 / (10rNa^+ - 5rCl^- - 9rSO_4^{2-}), \quad (1)$$

где  $rNa^+$ ,  $rCl^-$ ,  $rSO_4^{2-}$  – концентрация ионов, мг-экв/дм<sup>3</sup>.

Коэффициент адсорбции натрия (SAR), показатель пригодности воды для использования в сельскохозяйственном орошении, определяется

по концентрациям основных щелочных и щелочноземельных катионов, присутствующих в воде по формуле:

$$SAR=rNa^+ / \sqrt{0,5 \cdot (rCa^{2+}+rMg^{2+})}, \quad (2)$$

где  $rNa^+$ ,  $rCa^{2+}$ ,  $rMg^{2+}$  – концентрация катионов, мг·экв/дм<sup>3</sup> [26, 32].

Особое внимание было уделено процессу отбора пробы снежного покрова. Отбор проб проводился в 1-й декаде января 2024 года на открытых, визуально ровных площадках. В каждой геоморфологической зоне отбирались по три объединённых пробы снега конвертным методом. Пробы снега отбирали вдали от препятствий, создающих ветровую тень, лесных насаждений, а также от автомобильных и железных дорог для исключения возможного локального загрязнения. Отбор проб проводили на участках размером 1×1 м на всю глубину залегания снежного покрова пластиковой трубой с внутренним диаметром 5,50 см и площадью сечения 24 см<sup>2</sup>. При этом отслеживалось, чтобы нижняя часть керна не была загрязнена частицами почвы [15, 25].

В соответствии с определяемым перечнем основных ионов, принятым для сети Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО, в пробах снежного покрова были измерены концентрации основных ионов: сульфатов, хлоридов, нитратов, гидрокарбонатов, аммония, натрия, калия, кальция, магния, фосфатов (в форме растворенных ортофосфатов), фторидов, бария, лития, стронция. Определена удельная электропроводность (УЭП), общая минерализация в пересчёте на концентрацию хлоридов натрия и калия, а также гидроксида натрия. Определена расчётная величина минерализации, общая жёсткость, щёлочность свободная и общая, величина pH. Кроме того, произведено определение плотности потока гамма-частиц, удельной суммарной альфа и бета-активности [15, 31].

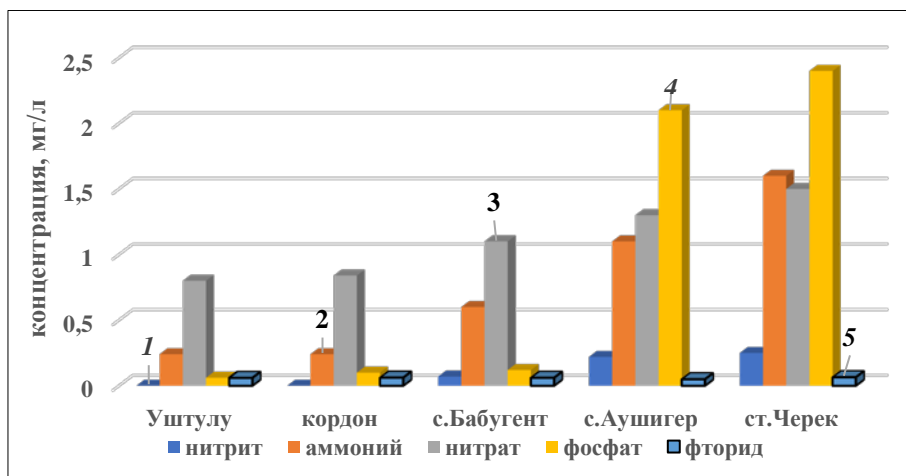
Для анализа проб снежного покрова применены следующие методы:

- 1) потенциметрический на приборе Эксперт-001.3.01 [19];
- 2) титриметрический на приборе титратор АТП-02 [13-14];
- 3) кондуктометрический на приборе кондуктометр Эксперт-002;
- 4) радиометрический на приборе дозиметр-радиометр МКС-03СА;
- 5) капиллярный электрофорез на приборе Капель-105М [20, 21].

Ранее проведённые гидрометеорологические исследования показали, что климат Черекского и Верхне-Балкарского ущелий по колебанию температур приземного слоя атмосферы, уровню осадков и направлению ветров относится к умеренному субтропическому климатическому поясу и является переменным-влажным, с большим количеством тёплых дней, даже в зимние месяцы. Средняя температура приземного слоя атмосферы сохраняется часто выше нуля, годовое суммарное выпадение осадков составляет 750 мм, а преобладающее направление ветра для данной местности – северо-восточное, юго-западное и южное [1–3, 6, 7]. Как показали исследования, в январе 2024 года выпало 262 мм осадков, а среднемесячная температура приземного слоя воздуха составила +3,4 °С.

## Результаты анализов и их обсуждение

Как видно из представленных данных, наблюдается пространственное увеличение количества и содержания некоторых выявленных параметров, что указывает на увеличение антропогенной нагрузки по мере перехода из высокогорной фоновой геоморфологической зоны в равнинную антропогенную (рис. 2). На повышение нагрузки указывает также пространственное увеличение плотности солей в снежном покрове от 4,5 до 12,0 мг/м<sup>2</sup>·час (табл. 2, 3).



**Рис. 2.** Концентрация биогенных веществ в снежном покрове: 1 – нитрит ион; 2 – аммоний ион; 3 – нитрат ион; 4 – фосфат ион; 5 – фторид ион.

**Fig. 2.** Concentration of nutrients in the snow cover: 1 – nitrite ion; 2 ammonium ion; 3 – nitrate ion; 4 – phosphate ion; 5 – fluoride ion.

Результаты исследований показали, что интегральными параметрами химического состава исследуемых талых снежных вод являются УЭП, расчётная величина минерализации (суммарное содержание всех макрокомпонентов) и значение водородного показателя (pH), которые тесно взаимосвязаны и подвергаются постоянному влиянию других, не измеренных компонентов почвы, воздуха и аэрозолей.

Известно, что снежный покров имеет слабокислую реакцию pH, на величину которой оказывает влияние CO<sub>2</sub>, так как от его содержания зависит концентрация водорода в воде. Таким образом, при прочих равных условиях, чем выше содержание CO<sub>2</sub>, тем больше концентрация ионов водорода и тем ниже значение pH. В то же время с увеличением концентрации гидрокарбонат-иона происходит смещение pH в сторону щелочной реакции, обусловленное появлением ионов OH<sup>-</sup> [23].

С точки зрения токсичности для экосистем показательна величина pH осадков. Известно [17], что существует степень воздействия кислотности водной среды на рыб, растения и микроорганизмы, на их размножение

и развитие. Так, при  $pH=3,0-3,5$  и ниже погибают практически все виды рыб, выживают некоторые виды растений и беспозвоночные; при величине  $pH=4,0-5,0$  задерживается развитие икры и некоторых видов рыб с последующей их гибелью.

**Табл. 2.** Соотношение суммы концентраций катионов и анионов в снежном покрове

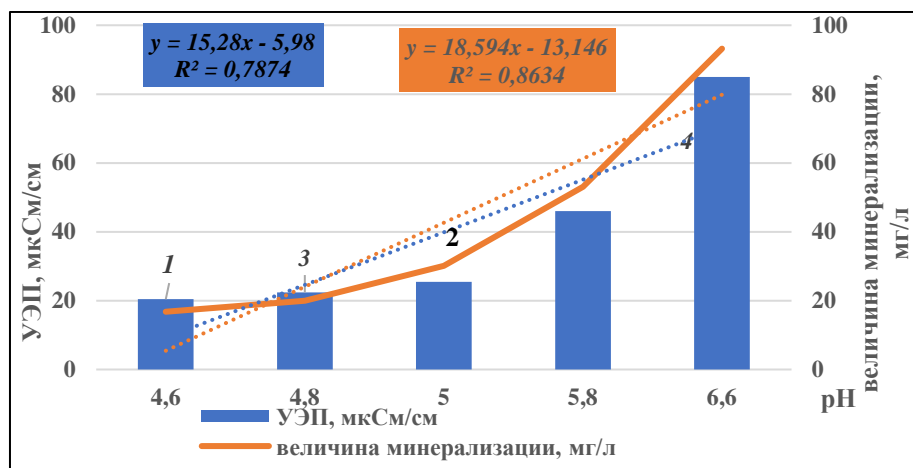
**Table 2.** The ratio of the sum of the concentrations of cations and anions in the snow cover

№ зоны	Соотношение суммы концентраций катионов (К) и анионов (А)	Средняя концентрация, мг/л
1	$K=[Na^+]+[K^+]+[Ca^{2+}]+[NH_4^+]+[Ba^{2+}]+[Li^+]$	1,11
	$A=[HCO_3^-]+[NO_3^-]+[SO_4^{2-}]+[Cl^-]+[PO_4^{3-}]+[F^-]$	1,67
	<b>K&lt;A</b> $[HCO_3^-]>[Na^+]>[K^+]>[Ca^{2+}]>[NO_3^-]>[SO_4^{2-}]>[NH_4^+]+[Cl^-]>[Ba^{2+}]>[PO_4^{3-}]>[F^-]>[Li^+]$ <b>Плотность солей в снежном покрове – 4,5 мг/м<sup>2</sup>*час</b>	
2	$K=[Na^+]+[Ba^{2+}]+[K^+]+[NH_4^+]+[Li^+]$	1,67
	$A=[HCO_3^-]+[Cl^-]+[SO_4^{2-}]+[PO_4^{3-}]+[NO_3^-]+[F^-]$	1,66
	<b>K&gt;A</b> $[Na^+]>[HCO_3^-]>[Ba^{2+}]>[Cl^-]>[SO_4^{2-}]>[NO_3^-]>[K^+]>[NH_4^+]>[Li^+]>[PO_4^{3-}]>[F^-]$ <b>Плотность солей в снежном покрове – 5,0 мг/м<sup>2</sup>*час</b>	
3	$K=[Na^+]+[Ca^{2+}]+[K^+]+[NH_4^+]+[Mg^{2+}]$	1,5
	$A=[HCO_3^-]+[Cl^-]+[NO_3^-]+[SO_4^{2-}]+[PO_4^{3-}]+[NO_2^-]+[F^-]$	1,8
	<b>K&lt;A</b> $[HCO_3^-]>[Na^+]>[Ca^{2+}]>[Cl^-]>[NO_3^-]>[SO_4^{2-}]>[K^+]+[NH_4^+]>[Mg^{2+}]>[PO_4^{3-}]>[NO_2^-]>[F^-]$ <b>Плотность солей в снежном покрове – 6,1 мг/м<sup>2</sup>*час</b>	
4	$K=[Ca^{2+}]+[NH_4^+]+[Mg^{2+}]+[Na^+]+[K^+]$	2,0
	$A=[HCO_3^-]+[NO_3^-]+[SO_4^{2-}]+[PO_4^{3-}]+[Cl^-]+[F^-]$	2,4
	<b>K&lt;A</b> $[HCO_3^-]>[Ca^{2+}]>[NH_4^+]>[NO_3^-]>[Mg^{2+}]>[SO_4^{2-}]>[PO_4^{3-}]>[Na^+]>[Cl^-]>[K^+]>[F^-]$ <b>Плотность солей в снежном покрове – 9,7 мг/м<sup>2</sup>*час</b>	
5	$K=[NH_4^+]+[Ca^{2+}]+[Mg^{2+}]+[Na^+]+[K^+]$	2,3
	$A=[HCO_3^-]+[NO_3^-]+[SO_4^{2-}]+[Cl^-]+[PO_4^{3-}]+[NO_2^-]+[F^-]$	2,6
	<b>K&lt;A</b> $[HCO_3^-]>[NH_4^+]>[Ca^{2+}]>[NO_3^-]>[SO_4^{2-}]>[Mg^{2+}]>[Cl^-]>[PO_4^{3-}]>[Na^+]>[K^+]>[NO_2^-]>[F^-]$ <b>Плотность солей в снежном покрове – 12,0 мг/м<sup>2</sup>*час</b>	

При этом величина  $pH$  сохраняется в течение 5–10 суток, а остатки нитритов могут сохраняться в объектах экосистем около месяца.

Характер распределения значений  $pH$  талой снежной воды показал, что оно находится в диапазоне 4,6–6,6 ед.  $pH$ , среднее же значение  $pH$  составило 5,4 ед. Также наблюдается смещение  $pH$  в сторону наибольших

значений с севера на юг КБР, т. е. с высокогорной в равнинные зоны. Выявлено, что с повышением величины минерализации ионов и УЭП, значение pH осадков также возрастает. Результаты исследований показали, что талая снежная вода в высокогорной и горной фоновых зонах (пункты 1 и 2) характеризуется слабокислой реакцией (рис. 3).



**Рис. 3** Соотношение между pH, УЭП и величиной минерализации талой снежной воды: 1 – УЭП, мкСм/см; 2 – величина минерализации, мг/л; 3 – линия тренда величины минерализации (оранжевая); 4 – линия тренда УЭП (синяя).

**Fig. 3.** The ratio between pH, UEP and the amount of mineralization of snowmelt water: 1 – UEP, MSM/cm; 2 – mineralization value, mg/l; 3 – mineralization value trend line (orange); 4 – UEP trend line (blue).

Известно, что значение общей минерализации в значительной степени зависит от физико-географических условий, количества выпадающих осадков, ветрового режима и т. д. В работе Н.Ф. Глазовского [10, 11] отмечено, что повышенная степень минерализации атмосферных осадков в горной местности обусловлена естественным геохимическим накоплением в результате конденсации, а также, как в нашем случае, в результате трансграничного переноса морских солей через Главный Кавказский хребет.

Хотя минерализация и УЭП характеризуют суммарное загрязнение осадков, их непосредственное влияние на токсичность осадков невелика. С другой стороны, следует отметить, что эти величины служат удобным показателем возможного количества в осадках отдельных ингредиентов.

Так, в пределах исследуемых зон – высокогорной, горной, предгорной и равнинной – определено, что УЭП повышается от высокогорной к равнинной зоне (в мкСм/см): 20,4 (1 пункт отбора); 22,4 (2 пункт отбора); 25,5 (3 пункт отбора); 46,0 (4 пункт отбора); 85,0 (5 пункт отбора), т. е. выявлено пространственное увеличение содержания компонентов в 4,2 раза.

Общая минерализация, определённая кондуктометрическим методом, в пересчёте на концентрацию хлорида натрия ( $15,9 \rightarrow 17,7 \rightarrow 18,0 \rightarrow 22,0 \rightarrow 26,0$ ) и хлорида калия ( $17,1 \rightarrow 19,0 \rightarrow 19,3 \rightarrow 21,0 \rightarrow 23,5$ ), указывает на морское происхождение состава снежного покрова.

Расчётное же значение величины минерализации снежного покрова по нашим данным составило 16,8, 20,0, 30,1, 53,1 и 93,2 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Таким образом, для величины минерализации выявлено пространственное увеличение от высокогорной к равнинной зоне, в 5,5 раз.

Формирование кислотности снежного покрова оценивалось через отношение суммы концентраций с учётом определённых катионов и анионов каждого пункта отбора по отдельности с представлением общего распределения параметров (см. табл. 2). Наблюдается широтная дифференциация в распределении катионов и анионов в снежном покрове с юга на север, выраженная в пропорциональном увеличении суммарного их содержания. Причиной этого является увеличение доли антропогенной нагрузки на снежный покров и дополнительных источников поступления веществ в атмосферу.

Как видно из табл. 2, соотношение катионов и анионов находится почти на одном уровне, за исключением первого и третьего пункта отбора, где содержание анионов в 1,5 и 1,2 раза соответственно выше, чем катионов. Данный факт можно объяснить выходом подземных минеральных вод “Уштулу” в районе отбора первой пробы снега, имеющих щелочную реакцию, а также приносом антропогенного фактора в 3-5-й пункты отбора. Отмечено, что с увеличением высоты над уровнем моря, т.е. высокогорных и горных районах, наблюдается тенденция к уменьшению плотности снежного покрова по сравнению с равниной.

Результаты анализа модулей поступления ионов позволили объяснить взаимосвязи между минеральными компонентами снежного покрова (табл. 3).

Существенный вклад в кислотность талых снежных вод исследуемых территорий приносят анионы сульфат- и нитрат-ионов, о чём свидетельствуют высокие значения отношения концентраций ( $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-] > 0,6$  (1 пункт отбора); ( $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-] > 1,2$  (2 пункт отбора); ( $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-] > 0,8$  (3 пункт отбора); ( $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-] > 1,3$  (4 пункт отбора); ( $[SO_4^{2-}]/[NO_3^-] > 2,0$  (5 пункт отбора) по отношению к другим ионам.

Элементы магний и натрий имеют, как правило, морское происхождение в снежном покрове, калий – терригенное. Значение соотношения ( $[Mg^{2+}] + [Na^+] / [Ca^{2+}] + [K^+]$ ) отражает преобладание морской ( $> 1$ ) или терригенной составляющей ( $< 1$ ). Так, данное соотношение для исследуемого снежного покрова подтверждает его происхождение как морское.

Известно, что ионы  $Mg^{2+} + K^+ + Cl^-$  имеют почвенно-эрозионное происхождение и, как видно, доля их вклада в состав талых снежных вод увеличивается по мере перехода от высокогорной зоны к равнинной.

**Таблица 3.** Соотношения модулей поступления главных ионов в снежном покрове**Table 3.** Ratios of the modules of the main ion intake in the snow cover

Показатель	Пункт отбора проб				
	1	2	3	4	5
$\text{NH}_4^+ + \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+ / \text{SO}_4^{2-} + \text{NO}_3^- + \text{Cl}^-$	4,2	3,3	2,0	1,8	1,6
$\text{SO}_4^{2-} / \text{NO}_3^-$	0,6	1,2	0,8	1,3	2,0
$\text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+} + \text{K}^+$	3,9	2,0	2,0	1,5	1,2
$\text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Cl}^-$	1,1	1,94	2,5	2,9	3,2
$\text{Na}^+ / \text{Cl}^-$	20,0	7,1	2,6	2,0	1,5
$\text{Cl}^- / \text{Na}^+$	0,05	0,1	0,4	0,55	0,7
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{PO}_4^{3-}$	0,5	0,18	2,0	2,5	2,9
$\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} / \text{SO}_4^{2-}$	0,9	0	2,1	2,6	3,0

Внутриконтинентальное происхождение осадков характеризуется соотношением  $\text{Cl}^-/\text{Na}^+ \approx 1$ . В наших исследованиях оно имеет следующее распределение:  $0,05 \rightarrow 0,1 \rightarrow 0,4 \rightarrow 0,55 \rightarrow 0,7$ .

Ионы  $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{PO}_4^{3-}$  накапливаются в снежном покрове в результате растворения в кислой среде фосфатов. Поступление этих компонентов в снежный покров обусловлено главным образом как естественными процессами выветривания горных пород, содержащих фосфаты магния и кальция, так и техногенными факторами. Так, видно, что пространственное изменение соотношений данных ионов происходит в сторону увеличения следующим образом:  $0,5 \rightarrow 0,18 \rightarrow 2,0 \rightarrow 2,5 \rightarrow 2,9$ .

Содержание гидрокарбонат-ионов характеризуется пространственным увеличением от высокогорной области к равнинной в 1,8 раза:  $8,40 \rightarrow 8,42 \rightarrow 8,54 \rightarrow 10,2 \rightarrow 15,0$ .

Ввиду того, что рН исследуемых талых снежных вод находится в интервале 4,6–6,6 ед., свободная щёлочность равна 0 ммоль/дм<sup>3</sup>, тогда как пространственное изменение общей щёлочности имеет следующие значения: 0,10 ммоль/дм<sup>3</sup> или 5,3 мг/дм<sup>3</sup> (1 пункт отбора); 0,12 ммоль/дм<sup>3</sup> или 6,0 мг/дм<sup>3</sup> (2 пункт отбора); 0,14 ммоль/дм<sup>3</sup> или 7,0 мг/дм<sup>3</sup> (3 пункт отбора); 0,18 ммоль/дм<sup>3</sup> или 9,0 мг/дм<sup>3</sup> (4 пункт отбора); 0,22 ммоль/дм<sup>3</sup> или 11,0 мг/дм<sup>3</sup> (5 пункт отбора).

Общая жёсткость исследуемых талых снежных вод в первых трёх пунктах равна 1,0 мг-экв/л, а в 4 и 5 пунктах подрастает до 1,5 и 1,7 мг-экв/л соответственно, что относит их к мягким.

Накопление биогенных аммоний- и нитрат-ионов обусловлено поступлением их в снежный покров из атмосферы в результате миграции из почвы, выделения их в процессе жизнедеятельности растений, а также в результате техногенной эмиссии при сжигании различных видов топлива.

Поступления фосфатов и фторидов в снежный покров обусловлено главным образом как естественными процессами выветривания горных пород, так и техногенными факторами.

Атмосферные осадки играют важную роль в поступлении основных биогенных веществ на Землю, которые ввиду своей токсичности заслуживают особого внимания в исследованиях талых снежных вод. Они представлены азотсодержащими ( $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ), фосфорсодержащими ( $\text{PO}_4^{3-}$  – в форме растворенных ортофосфатов) и фторсодержащим ( $\text{F}^-$ ) соединениями (рис. 3). Так, в 1 и 2 пунктах отбора выявлены следующие формы биогенов:  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{F}^-$  в сумме 1,16 и 1,24 мг/дм<sup>3</sup> соответственно, в 3, 4 и 5 пунктах –  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{F}^-$  в количестве 2,0, 4,8 и 5,8 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. В 1–3 и 5 пунктах отбора выявлено превышение ПДК<sub>р.х.</sub> 0,05 мг/дм<sup>3</sup> по фторид ионам в 1,2–1,3 раза.

Ион  $\text{Ba}^{2+}$  выявлен в первых двух фоновых точках отбора проб – 0,11 и 7,0 мг/дм<sup>3</sup> соответственно. Лимитирующим признаком вредности бария является санитарно-токсикологический норматив и ПДК вод рыбохозяйственного назначения (ПДК<sub>р.х.</sub>), равный 0,74 мг/дм<sup>3</sup>. Этот показатель превышен во второй точке отбора в 9,5 раз.

Ион  $\text{Li}^+$  выявлен также в первых двух фоновых точках отбора в концентрациях равных 0,04 мг/дм<sup>3</sup> и 0,20 мг/дм<sup>3</sup>. Лимитирующим признаком вредности лития является санитарно-токсикологический и показатель ПДК<sub>р.х.</sub> в воде водоёмов равный 0,08 мг/дм<sup>3</sup>. Превышение во второй точке отбора составляет 2,5 раза, а при нормативе для питьевой воды (ПДК<sub>п.в.</sub>) равном 0,03 мг/дм<sup>3</sup> превышения выявлены в первой (в 1,3 раза) и во второй точке (в 6,6 раза).

Стронций-ионы в исследуемых талых снежных водах не выявлены.

Органолептические величины – запах и привкус – талых снежных вод оценены на уровне 0 баллов.

Удельная суммарная альфа, бета активность в анализируемых пробах не выявлены, а плотность потока гамма-частиц находилась на уровне 0,23–0,24 мкЗв/час. Необходимо отметить, что последний параметр мы не можем охарактеризовать с точки зрения превышения ПДК, т.к. он не нормируется.

При сравнении со средним составом ранее исследованных в течение 20 лет поверхностных вод западной части северного склона Центрального Кавказа [2, 3], проведённый химический анализ снежного покрова показал значительно большую долю хлоридов (0,24; 1,43; 1,7; 1,85; 1,9 мг/дм<sup>3</sup>), натрия (5,0; 10,1; 4,4; 4,0; 3,8 мг/дм<sup>3</sup>) и калия (0,82; 0,51; 0,63; 0,58; 0,50 мг/дм<sup>3</sup>). Причём доля хлоридов составляла 1,4; 5; 9,3; 10,1, 12 %; калия – 5; 1,7; 3,2; 3,8, 4,0 %; натрия – 42, 50, 28, 20, 17 %. При этом натрий- и хлорид-ионы проявляют высокую степень сродства и мигрируют в геохимическом цикле в виде аэрозолей морского происхождения через Главный Кавказский хребет. Наглядным подтверждением данному факту является распределение соотношений  $\text{Na}/\text{Cl}$  от высокогорной к равнинной зоне: 20,0→7,1→2,6→2,0→1,5 (см. табл. 3).

Расчётные значения компонентов снежного покрова (табл. 4) показывают, в целом, динамику как поступления, так и нагрузки их на окружающую среду.

Как видно (рис. 4), вклад отдельных компонентов в суммарное поступление на подстилающую земную поверхность во всех изучаемых геоморфологических зонах КБР распределяется следующим образом:  $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Ba}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{NH}_4^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_2^- > \text{F}^- > \text{Li}^+$ . Причём на долю первых пяти главенствующих ионов приходится 81,4 % от общей суммы поступления компонентов на подстилающую земную поверхность.

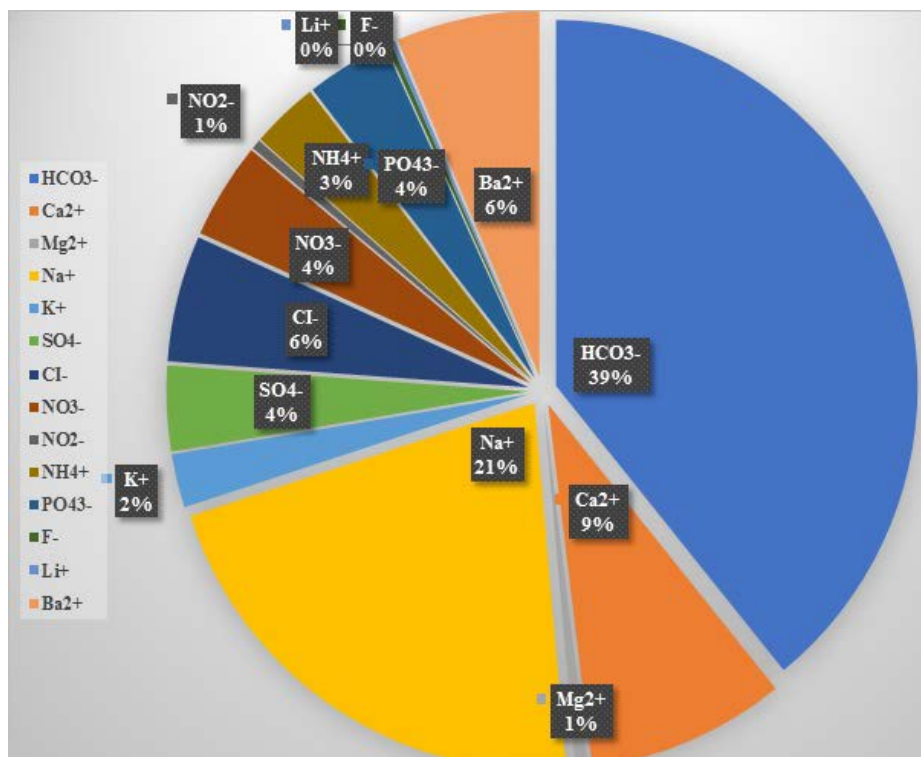
**Таблица 4.** Расчётные значения компонентов снежного покрова  
**Table 4.** Calculated values of snow cover components

Пункт отбора проб						Сумма 1-5
	1	2	3	4	5	
Среднее значение поступления компонентов на подстилающую поверхность $P_n$						
pH	-	-	-	-	-	-
$\text{HCO}_3^-$	1,4	1,4	1,42	1,7	2,5	8,42
$\text{Ca}^{2+}$	0,08	0	0,29	0,4	0,42	1,91
$\text{Mg}^{2+}$	0	0	0,03	0,04	0,045	0,12
$\text{Na}^+$	0,83	1,7	0,73	0,7	0,63	4,6
$\text{K}^+$	0,14	0,085	0,1	0,1	0,08	0,51
$\text{SO}_4^{2-}$	0,09	0,17	0,15	0,18	0,22	0,81
$\text{Cl}^-$	0,04	0,23	0,28	0,31	0,32	1,2
$\text{NO}_3^-$	0,13	0,14	0,18	0,22	0,25	0,92
$\text{NO}_2^-$	0	0	0,012	0,04	0,042	0,094
$\text{NH}_4^+$	0,04	0,04	0,1	0,22	0,25	0,65
$\text{PO}_4^{3-}$	0,01	0,017	0,02	0,35	0,4	0,8
$\text{F}^-$	0,01	0,01	0,01	0,008	0,011	0,05
$\text{Li}^+$	0,007	0,03	0	0	0	0,037
$\text{Ba}^{2+}$	0,18	1,2	0	0	0	1,38
Коэффициент концентрации компонента $K_c$						
pH			1,1	1,2	1,4	3,7
$\text{HCO}_3^-$	Фон	Фон	1,0	1,2	1,8	4,0
$\text{Ca}^{2+}$			3,6	4,7	5,3	13,6
$\text{Mg}^{2+}$			0	0	0	0
$\text{Na}^+$			0,6	0,53	0,5	1,63
$\text{K}^+$			0,95	0,88	0,76	2,6
$\text{SO}_4^{2-}$			1,2	1,4	1,7	4,3
$\text{Cl}^-$			2,0	2,2	2,3	6,5
$\text{NO}_3^-$			1,3	1,6	1,8	4,7
$\text{NO}_2^-$			-	-	-	-
$\text{NH}_4^+$			2,5	4,6	6,7	13,8
$\text{PO}_4^{3-}$			0,22	4,0	4,5	8,72
$\text{F}^-$			1,0	0,8	1,0	2,8
$\text{Li}^+$			0	0	0	0
$\text{Ba}^{2+}$	0	0	0	0		

Коэффициент относительного увеличения общей нагрузки компонента $K_p$						
pH	Фон	Фон	1,1	1,23	1,4	3,7
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1,0	1,2	1,8	4,0
Ca <sup>2+</sup>			3,6	5,0	5,3	14,0
Mg <sup>2+</sup>			0,03	0,04	0,045	0,12
Na <sup>+</sup>			0,6	0,5	0,5	1,36
K <sup>+</sup>			0,9	0,9	0,7	2,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>			1,1	1,4	1,7	4,2
Cl <sup>-</sup>			2,1	2,3	2,4	6,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>			1,3	1,6	1,8	4,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>			0,01	0,04	0,042	0,092
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>			2,5	5,5	6,2	14,2
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>			1,5	26,0	30,0	57,5
F <sup>-</sup>			1,0	0,8	1,1	2,9
Li <sup>+</sup>			0	0	0	0
Ba <sup>2+</sup>			0	0	0	0
Пункт отбора проб						
	1	2	3	4	5	
Коэффициент опасности (загрязнения) исследуемых компонентов $K_0$						
pH	-	-	-	-	-	
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	
Ca <sup>2+</sup>	-	-	-	-	-	
Mg <sup>2+</sup>	-	-	-	-	-	
Na <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	
K <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	-	-	-	-	-	
Cl <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	-	-	-	-	-	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	-	-	-	-	-	
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	-	-	-	-	-	
F <sup>-</sup>		1,2 <sub>р.х.</sub>	1,2 <sub>р.х.</sub>	-	-	
Li <sup>+</sup>	1,3 <sub>р.х.</sub> *	6,7 <sub>п.в./2,5</sub> <sub>р.х.</sub>	-	-	-	
Ba <sup>2+</sup>	0,15 <sub>п.в./0,15</sub> <sub>р.х.</sub>	10 <sub>п.в./9,5</sub> <sub>р.х.</sub>	-	-	-	

Пункт отбора проб					
	1	2	3	4	5
Сумма коэффициентов опасности исследуемых компонентов $\Sigma K_0$					
	0,15 <sub>п.в.</sub> <sup>Ba2+</sup> / 1,45 <sub>р.х.</sub> <sup>Li++ Ba2+</sup>	16,7 <sub>п.в.</sub> <sup>Li++ Ba2+</sup> / 13,2 <sub>р.х.</sub> <sup>F++Li++ Ba2+</sup>	1,2 <sub>р.х.</sub> <sup>F-</sup>	-	-
Суммарный показатель нагрузки компонентов на территорию $Z_p$					
Фон	Фон	5,1	35,0	41,2	
Ирригационный коэффициент Стеблера					
14,0	182,0	72,0	65,0	50,0	
Коэффициент адсорбции натрия SAR					
2,0	0,44	0,86	0,66	0,55	

*Примечание.* \* Расчётные значения компонентов снежного покрова для питьевых вод и вод рыбохозяйственного назначения.



**Рис. 4.** Распределение суммарного поступления компонентов на подстилающую поверхность.

**Fig. 4.** Distribution of the total intake of components to the underlying surface.

Распределение суммарного коэффициента концентрации ( $K_c$ ) компонентов от высокогорной к равнинной зоне выглядит следующим образом:  $\text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{PO}_4^{3-} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{F}^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+$ .

Распределение суммарного коэффициента относительного увеличения общей нагрузки ( $K_p$ ) компонентов от высокогорной к равнинной зоне выглядит следующим образом:  $\text{PO}_4^{3-} > \text{NH}_4^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{F}^- > \text{K}^+ > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_2^-$ .

В соответствии с нормативами ПДК для питьевых вод и вод рыбохозяйственного назначения коэффициент опасности (загрязнения) исследуемых компонентов ( $K_o$ ) определён только для трёх компонентов снежного покрова:  $\text{F}^-$ ,  $\text{Li}^+$ ,  $\text{Ba}^{2+}$  высокогорной, горной и предгорной зон. Данный факт объясним с точки зрения геологии районов исследований и диффузии составляющих горных пород в атмосферу.

Пространственное изменение коэффициента адсорбции натрия (SAR) от высокогорной зоны к равнинной позволяет охарактеризовать пробы как низко опасные для осолонцевания почв, а ирригационный коэффициент Стеблера – как хорошие для применения в орошении.

## Заключение

Таким образом, выявлены закономерности формирования химического состава снежного покрова в разных геоморфологических зонах КБР. Талая снежная вода исследуемых областей характеризуется, как мягкая, низкой минерализации с кислой реакцией среды, что обусловлено преобладанием в снежном покрове сильных минеральных кислот и дефицитом нейтрализующих соединений. Выявлена широтная дифференциация в распределении ионов в снежном покрове с юга на север.

Проведённые исследования показали, что снежный покров Верхне-Балкарского и Черекского ущелий в соответствии с классификацией [4] можно отнести к гидрокарбонатно-натриевому I типу (1–3 пункт отбора), гидрокарбонатно-кальциевому (4 пункт отбора) и гидрокарбонатно-аммониевому типу (5 пункт отбора). Состав снежного покрова показал, что преобладающее влияние на химизм оказывает трансграничный перенос морских солей через Главный Кавказский хребет.

## Список литературы

1. Агоева Э.А., Иттиев А.Б. Исследование метеорологических и гидрологических параметров в Кавказском регионе // Геология, география и глобальная энергия. 2021. № 2 (81). С. 114-124. <https://doi.org/10.21672/2077-6322-2021-81-2-114-124>.
2. Агоева Э.А., Бозиева Ж.Ч., Иттиев А.Б. Исследования метеорологических и гидрохимических параметров в Безенгийском ущелье // Геология, география и глобальная энергия. 2018. № 4 (71). С. 166-177. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36683877>.
3. Агоева Э.А., Иттиев А.Б., Газаев М.М. Микроэлементы в поверхностных водах Чегемского ущелья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2018. Том 24, № 8. С. 16-28. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36486935>.
4. Алекин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеоиздат, 1970. 445 с.
5. Баранов А.Н., Савченко Е.И., Пескова Т.А. Математическая обработка результатов исследования снежного покрова // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли. Материалы V Байкальской международной научной конференции – стратегической сессии. 2023. С. 41-44.
6. Бозиева Ж.Ч., Агоева Э.А., Газаев М.А. Изменение приземной температуры воздуха и суммы выпавших осадков в Верхне-Балкарском ущелье // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Том 25, № 8. С. 14-23. <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2019-25-8-14-23>.
7. Бозиева Ж.Ч., Агоева Э.А., Иттиев А.Б. Исследование уровня атмосферных осадков в Кавказском регионе // Геология, география и глобальная энергия. 2020. Т. 78, № 3. С. 46-53. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44177173>.
8. Бондаревич Е.А., Коцюржинская Н.Н., Жилыева О.А., Самойленко Г.Ю., Климович К.И., Изумнов С.А. Мониторинг загрязнения снежного покрова г. Читы тяжелыми металлами // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2018. Том 8, № 2. С. 132-144. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2018-8-2-132-144>.
9. Василенко В.Н., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Мониторинг загрязнения снежного покрова. Л.: Гидрометеоиздат. 1985. 184 с.
10. Глазовский Н.Ф., Злобина А.И., Учватов В.П. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна // Региональный экологический мониторинг. М.: Наука, 1983. С. 67-86.
11. Глазовский Н.Ф. Учватов В.П. Химический состав атмосферной пыли некоторых районов ЕТС. Пушкино: Науч. центр биологических исследований АН СССР, 1981. 31 с.

12. ГН 2.1.5.1315 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования гигиенические нормативы

13. ГОСТ 31954-2012 Вода питьевая. Методы определения жёсткости

14. ГОСТ 31957-2012 Вода. Методы определения щёлочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов

15. ГОСТ 17.1.5.05-85 Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков

16. *Грей Д.М., Мэйл Д.Х.* Снег. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 751 с.

17. *Майстренко В.Н.* Эколого-аналитический мониторинг супертоксикантов. М.: Химия, 1996. 319 с.

18. *Мухаметдинова Э.А. (Кузнецова Э.А.)* Геосистемная сущность снежного покрова // Естественные и технические науки. 2009. № 4. С. 274-277.

19. ПНД Ф 14.1:2:3:4:121 Методика выполнения измерений pH в водах потенциометрическим методом

20. ПНД Ф 14.1:2:3:4.282-18 Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлорид-ионов, нитрит-ионов, сульфат-ионов, нитрат-ионов, фторид-ионов и фосфат-ионов в пробах природных, питьевых и сточных вод с применением системы капиллярного электрофореза “Капель-105М”

21. ПНДФ 14.1:2:4.167-2000 Количественный химический анализ вод методика измерений массовой концентрации катионов аммония, калия, натрия, лития, магния, стронция, бария и кальция в пробах питьевых, природных (в том числе минеральных) и сточных вод методом капиллярного электрофореза с использованием системы капиллярного электрофореза “Капель-105М”

22. Приказ от 13 декабря 2016 года N552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» (с изменениями на 22 августа 2023 г.)

23. *Прокачёв В.Г., Усачёв В.Ф.* Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 192 с.

24. *Роджер Г.* Погода и климат в горах. Л.: Гидрометеиздат, 1984. 311 с.

25. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы

26. *Рив Р.К., Байэр К.А., Брукс Р.Х.* Сравнение влияния обменных натрия и калия на физическое состояние почв // Журнал Американского общества почвоведов. 1954. № 8 (2). С. 130. <https://doi.org/10.2136/sssaj1954.03615995001800020004x>.

27. СанПин 2.1.5.980-00 Водоотведение населённых мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод Санитарные правила и нормы

28. СанПин 2.1.3684-21 Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий

29. *Семакина А.В., Сырых И.В., Платунова Г.Р.* К аэрогенному загрязнению снежного покрова города Ижевска // Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о Земле. 2018. Том 28, вып. 3. С. 257-268.

30. *Цвигун Ю.С., Галичева Л.А.* Климатические особенности территории Кабардино-Балкарской Республики и динамика их изменения. Нальчик: Перспектива, 2010. Том 1. 405 с.

31. GAW report No. 160. Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Geneva: WMO, 2004. 170 p.

32. *Oster J., Sposito G.* The Gapon Coefficient and the exchangeable sodium percentage-sodium adsorption ratio relation // Soil Science Society of America Journal. 1980. No. 44 (2). P. 258. <https://doi.org/10.2136/sssaj1980.03615995004400020011x>

## References

1. Agoeva E.A., Ittiev A.B. Issledovanie meteorologicheskikh i gidrologicheskikh parametrov v Kavkazskom regione [The study of meteorological and hydrological parameters in the Caucasus region]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2021, vol. 81, no. 2, pp. 114-124 [in Russ]. DOI: 10.21672/2077-6322-2021-81-2-114-124.
2. Agoeva E.A., Bozieva Zh.Ch., Ittiev A.B. Space-timporary changes of meteorological and hydrochemical parameters in the Bezengi corge. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2018, vol. 71, no. 4, pp. 166-177 [in Russ].
3. Agoeva E.A., Ittiev A.B., Gazaev M.M. Mikroelementy v poverhnostnykh vodah Chegemskogo ushel'ya. [Trace elements in the surface waters of the Chegem gorge]. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University], 2018, vol. 24, no. 8, pp.16-28 [in Russ].
4. Alekin O.A. Osnovygidrohimii [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1970, 445 p. [in Russ].
5. Baranov A.N., Savchenko E.I., Peskova T.A. Matematicheskaya obrabotka rezul'tatov issledovaniya snezhnogo pokrova [Mathematical processing of the results of the snow cover study]. *Snezhnyy pokrov, atmosfernye osadki, aerzoli. Materialy V Baykal'skoy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii – strategicheskoy sessii* [Snow cover, precipitation, aerosols: Materials of the V Baikal International Scientific Conference – strategic session], June 19-23, 2023, pp. 41-44 [in Russ].
6. Bozieva Zh. Ch., Agoeva E. A., Gazaev M. A. Changes in surface air temperature and the amount of precipitation in the Upper Balkar Gorge. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Trans-Baikal State University], 2019, vol. 25, no. 8, pp. 14-23 [in Russ]. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-8-14-23.
7. Bozieva Zh.Ch. Agoeva E.A.,Ittiev A.B Issledovanie urovnya atmosfernih osadkov v Kavkazskom regione [Investigation of precipitation levels in the Caucasus region]. *Geologiya, geografiya i global'naya energiya* [Geology, geography and global energy], 2020, vol. 78, no. 3, pp. 46-53 [in Russ].
8. Bondarevich E.A., Kocjurzhinskaja N.N., Zhiljaeva O.A., Samojlenko G.Ju., Klimovich K.I., Igumnov S.A. Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova g. Chity tyazhelymi metallami [Monitoring of pollution of the snow cover of Chita with heavy metals] *Izvestiya vuzov. Prikladnaya himiya i biotekhnologiya*, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 132-144 [in Russ]. DOI: 10.21285/2227-2925-2018-8-2-132-144.
9. Vasilenko V., Nazarov I., Fridman Sh Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1985, 184 p. [in Russ].
10. Glazovskiy N.F., Zlobina A.I., Uchvatov V.P. Himicheskij sostav snezhnogo pokrova nekotoryh rayonov Verkhneokskogo basseyna [The chemical composition of the snow covers in some areas of the Verkhneoksky basin]. *Regional'nyy ekologicheskij monitoring*, Moscow, Nauka publ., 1983, pp. 67-86 [in Russ].
11. Glazovskiy N.F. Uchvatov V.P. Himicheskij sostav atmosfernoj pyli nekotoryh rayonov ETS [The chemical composition of atmospheric dust in some areas of the ETC]. Pushchino: Nauch. centr biologicheskikh issledovaniy AN SSSR [Pushchino: Scientific Center for Biological Research of the USSR Academy of Sciences], 1981, 31 p. [in Russ].
12. GN 2.1.5.1315 Predel'no dopustimye koncentracii (PDK) himicheskikh veshchestv v vode vodnykh ob'ektov hozyaystvenno-pit'evogo i kul'turno-bytovogo vodopol'zovaniya gigienicheskie normativy. [Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the water of water bodies of economic, drinking and cultural water use hygienic standards. Maximum permissible concentrations (MPC) of chemicals in the water of water bodies for economic, drinking and cultural water use hygienic standards], Moscow, Ministry of Health of Russia, 2003, 153 p. [in Russ].
13. GOST 31954-2012 Voda pit'evaya. Metody opredeleniya zhestkosti [Drinking water. Methods for determining stiffness], Moscow, Standartinform publ., 2018, 18 p. [in Russ].
14. GOST 31957-2012 Voda. Metody opredeleniya shchelochnosti i massovoy koncentracii karbonatov i gidrokarbonatov [Water. Methods for determining the alkalinity and mass concentration of carbonates and bicarbonates]. Moscow, Standartinform publ., 2013, 30 p. [in Russ].

15. GOST 17.1.5.05-85 Obshchie trebovaniya k otboru prob poverhnostnyh i morskikh vod, l'da i atmosferynyh osadkov [General requirements for sampling surface and marine waters, ice and precipitation]. Moscow, 1985, 12 p. [in Russ].

16. Grej D.M., Mjejl D.H. Sneg [Snow]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1986, 751 p. [in Russ].

17. Maystrenko V.N. Ekologo-analicheskij monitoring supertoksikantov. [Ecological and analytical monitoring of supertoxicants]. Moscow, Himiya publ., 1996, 319 p. [in Russ].

18. Muhametdinova E.A. (Kuznecova E.A.) Geosistemnaya sushchnost' snezhnogo pokrova [The geosystem nature of the snow cover]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki [Natural and technical sciences]*, 2009, no. 4, pp. 274-277 [in Russ].

19. PND F 14.1.2:3:4:121 Metodika vypolneniya izmereniy rN v vodah potentsiometricheskim metodom [The method of performing pH measurements in waters by the potentiometric method]. FBU "FCAO", 2018, 26 p. [in Russ].

20. PND F 14.1.2:3:4.282-18 Kolichestvennyy himicheskij analiz vod. Metodika izmereniy massovoy koncentracii kationov i anionov, nitrit-ionov, sul'fat-ionov, nitrat-ionov, florid-ionov i fosfat-ionov v probah prirodnyh, pit'evykh i stochnykh vod s primeneniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza "Kapel'-105M". [Quantitative chemical analysis of waters. Method of measuring the mass concentration of chloride ions, nitrite ions, sulfate ions, nitrate ions, fluoride ions and phosphate ions in samples of natural, drinking and wastewater using the Kapel'-105M capillary electrophoresis system]. Moscow, Standartinform publ., 2019, 26 p. [in Russ].

21. PND F 14.1.2:4.167-2000 Kolichestvennyy himicheskij analiz vod metodika izmereniy massovoy koncentracii kationov ammoniya, kaliya, natriya, litiya, magniya, stronciya, bariya i kal'ciya v probah pit'evykh, prirodnykh (v tom chisle mineral'nykh) i stochnykh vod metodom kapillyarnogo elektroforeza s ispol'zovaniem sistemy kapillyarnogo elektroforeza "Kapel'-105M" [Quantitative chemical analysis of waters a method for measuring the mass concentration of ammonium, potassium, sodium, lithium, magnesium, strontium, barium and calcium cations in samples of drinking, natural (including mineral) and wastewater by capillary electrophoresis using the Kapel'-105M capillary electrophoresis system]. Moscow, Standartinform publ., 2020, 24 p. [in Russ].

22. Prikaz ot 13 dekabrya 2016 goda N552 «Ob utverzhenii normativov kachestva vody vodnykh ob'ektov rybohozyaystvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh koncentraciy vrednykh veshchestv v vodah vodnykh ob'ektov rybohozyaystvennogo znacheniya» (s izmeneniyami na 22 avgusta 2023 g.) [Order No. 552 dated December 13, 2016 On Approval of Water Quality Standards for Water Bodies of Fisheries Importance, including Standards for Maximum Permissible Concentrations of Harmful Substances in the Waters of Water Bodies of Fisheries Importance (as amended on August 22, 2023)], 153 p. [in Russ].

23. Prokachjov V.G., Usachjov V.F. Snezhnyj pokrov v sfere vliyaniya goroda. [Snow cover in the sphere of influence of the city]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1989, 191 p. [in Russ].

24. Rodzher G. Pogoda i klimat v gorah. [Weather and climate in the mountains]. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1984, 311 p. [in Russ].

25. RD 52.04.186-89 Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery [Guidelines for the control of atmospheric pollution]. Moscow, 1991, 556 p. [in Russ].

26. Reeve R.C., Bower, C.A., Brooks R.H., Gschwend F.B. A Comparison of the Effects of Exchangeable Sodium and Potassium upon the Physical Condition of Soils. *Journal of the American Society of Soil Scientists*, 1954, no. 8(2), 130 p. DOI: 10.2136/sssaj1954.03615995001800020004x

27. SanPin 2.1.5.980-00 Vodootvedenie naselennykh mest, sanitarnaya ohrana vodnykh ob'ektov. Gigienicheskie trebovaniya k ohrane poverhnostnykh vod Sanitarnye pravila i normy [Sanitation of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface waters Sanitary rules and regulations], 2017, 13 p. [in Russ].

28. SanPiN 2.1.3684-21 Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k sodержaniyu territoriy gorodskikh i sel'skikh poseleniy, k vodnym ob'ektam, pit'evoy vode i pit'evomu vodosnabzheniyu, atmosfernomu vozduhu, pochvam, zhilym pomeshcheniyam, eksploatatsii proizvodstvennykh, obshchestvennykh pomeshcheniy, organizatsii i provedeniyu sanitarno-protivoepidemicheskikh (profilakticheskikh) meropriyatiy [Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance

of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial and public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures], 2021, 63 p. [in Russ].

29. Semakina A.V., Sryh I.V., Platunova G.R. K aerogennomu zagryazneniyu snezhnogo pokrova goroda Izhevsk [To aerogenic pollution of the snow cover of the city of Izhevsk]. Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o Zemle [*Bulletin of the Udmurt University. Biology series. Earth Sciences*], 2018, vol. 28, no. 3, pp. 257-268 [in Russ].

30. Cvigun Yu.S., Galicheva L.A. Klimaticheskie osobennosti territorii Kabardino-Balkarskoy Respubliki i dinamika ih izmeneniya [Climatic features of the territory of the Kabardino-Balkarian Republic and the dynamics of their changes]. Nal'chik: Perspektiva, 2010, 405 p. [in Russ].

31. GAW report No. 160. Manual for the GAW Precipitation Chemistry Programme. Geneva, WMO, 2004, 170 p.

32. Oster J., Sposito G. The Gapon Coefficient and the exchangeable sodium percentage-sodium adsorption ratio relation. *Soil Science Society of America Journal*, 1980, no. 44 (2), 258 p. DOI: 10.2136/sssaj1980.03615995004400020011x.

*Поступила 17.03.2025; одобрена после рецензирования 04.06.2025;  
принята в печать 18.06.2025.*

*Submitted 17.03.2025; approved after reviewing 04.06.2025;  
accepted for publication 18.06.2025.*