

УДК 551.577.13
DOI 10.17513/use.38250

ИЗМЕНЕНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА НА МЕТЕОСТАНЦИЯХ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ ЗА ПЕРИОД С 2015 ПО 2022 ГОДЫ

¹Шелганова А.А., ²Майорова Л.П., ²Гладун И.В.

¹ФГБУ «Дальневосточное УГМС», Хабаровск, e-mail: 2013003202@pnu.edu.ru;

²ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет», Хабаровск,
e-mail: 000318@pnu.edu.ru, 006209@pnu.edu.ru

Аннотация. Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ динамики концентраций главных ионов в снежном покрове на метеостанциях Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г. В работе использованы результаты исследования загрязнения снежного покрова ФГБУ «Дальневосточное УГМС» по ст. «Хабаровск» и «Чегдомын», расположенным на территориях с антропогенными источниками загрязнения атмосферы, и ст. «Аян», принятой за условно «фоновую». Показано, что снежный покров на территории края характеризуется в основном слабокислой реакцией среды. На ст. «Хабаровск» и «Чегдомын» основной вклад в величину кислотности снежного покрова вносят сульфаты, имеющие, вероятно, антропогенное происхождение. Малоснежными зимами 2018–2019 и 2019–2020 гг. величина pH повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса. Максимальные значения и межгодовые изменения влагозапаса были отмечены на ст. «Аян». Медианные значения минерализации снеговой воды составили соответственно по ст. «Хабаровск» – 25,64; «Чегдомын» – 12,01; «Аян» – 11,91 мг/дм³. Максимальные значения отмечены на ст. «Хабаровск» в 2018–2019 (60,81 мг/дм³) и 2019–2020 (78,30 мг/дм³) гг. С использованием метода boxplots выявлены выбросы значений содержания ионов в снеговой воде. По всем метеостанциям была отмечена значительная межгодовая изменчивость содержания главных ионов в снеговой воде, что указывало на локальный характер загрязнения атмосферных осадков. Эффект нейтрализации кислотных компонентов в снеговой воде осаждением основных катионов и возможное смещение потенциала подкисления осадков, вероятно, связаны с ростом загрязненности атмосферного воздуха над Хабаровской городской агломерацией в зимний период. Значительный диапазон колебаний содержания главных ионов в снежном покрове ст. «Аян» указывает на ошибочность решения о выборе ее в качестве условно «фоновой». Причинами колебаний могут быть природно-климатические факторы и влияние локальных источников загрязнения атмосферы, обуславливающих высокие концентрации сульфатов и нитратов.

Ключевые слова: Хабаровский край, снежный покров, талая вода, ионный состав, динамика

CHANGES IN THE CHEMICAL COMPOSITION OF SNOW COVER AT WEATHER STATIONS OF THE KHABAROVSK REGION FOR THE PERIOD FROM 2015 TO 2022

¹Shelganova A.A., ²Mayorova L.P., ²Gladun I.V.

¹Far Eastern UGMS, Khabarovsk, e-mail: 2013003202@pnu.edu.ru;

²Pacific State University, Khabarovsk, e-mail: 000318@pnu.edu.ru, 006209@pnu.edu.ru

Annotation. The purpose of this study was a comparative analysis of the dynamics of concentrations of major ions in the snow cover at weather stations in the Khabarovsk Territory for the period from 2015 to 2022. The work uses the results of a study of snow cover pollution by the Far Eastern UGMS at st. Khabarovsk and Chegdomyn, located in territories with anthropogenic sources of air pollution, and st. Ayan, taken as conditionally «background». It is shown, that the snow cover in the region is characterized mainly by a slightly acidic reaction of the environment. At the st. Khabarovsk and Chegdomyn the main contribution to the acidity of the snow cover is made by sulfates, probably of anthropogenic origin. Low snow winters of 2018–2019 and 2019–2020, the pH value increased to 6,55–6,93 against the background of minimum values of the average moisture reserve. Maximum values and interannual changes in moisture reserves were noted at st. «Ayan». The median values of snow water mineralization were according to st. «Khabarovsk» – 25,64; «Chegdomyn» – 12,01; «Ayan» – 11,91 mg/dm³. The maximum values are marked at st. «Khabarovsk» in 2018–2019 (60,81 mg/dm³) and 2019–2020 (78,30 mg/dm³). Using the boxplots method, outliers in ion content values in snow water were identified. At all weather stations, significant interannual variability was noted in the content of major ions in snow water, which indicated the local nature of precipitation pollution. The effect of neutralization of acidic components in snow water by precipitation of basic cations and a possible shift in the acidification potential of precipitation are likely associated with an increase in air pollution over the Khabarovsk urban agglomeration in winter. A significant range of fluctuations in the content of major ions in the snow cover at st. «Ayan» indicates that the decision to choose her as a conditionally «background» was wrong. The reasons for fluctuations may be natural climatic factors and the influence of local sources of air pollution, causing high concentrations of sulfates and nitrates.

Keywords: Khabarovsk region, snow cover, melt water, ionic composition, dynamics

Исследование химического состава снежного покрова – обязательная часть государственной системы мониторинга загрязнения окружающей среды, позволяющего коли-

чественно оценить суммарные параметры техногенного загрязнения, включая сухие и влажные выпадения загрязняющих веществ, в дальнейшем приводящие к появ-

лению почвенных геохимических аномалий на городской территории и загрязнению водных объектов в весенний период. Рост городов и индустриализация в России и странах Восточной Азии обуславливают эмиссию в атмосферный воздух сульфатов и нитратов, образующихся при сжигании ископаемого топлива, а развитие интенсивного земледелия и последствия лесных пожаров приводят к выбросам NH_3 [1, 2]. Обнаруженная способность нитратов транспортироваться зимой на значительное расстояние от локального источника эмиссии может изменять кислотность снежного покрова земельных участков, расположенных в жилой и рекреационной зоне населенных мест [3]. Выпадение кислотных ионов в зимний период на снежный покров влияет на кислотно-щелочной баланс городских почв и поверхностных водных объектов, вызывая подкисление и эвтрофикацию. Отмечается возможность трансграничного переноса SO_2 и NO_x с воздушными потоками с территории северо-восточного Китая на российский Дальний Восток, приводящая к увеличению кислотности осадков в приграничных регионах [4, 5].

Стратегия социально-экономического развития регионов российского Дальнего Востока предполагает проведение «новой индустриализации» экономики, строительство предприятий с передовыми технологиями, создание комфортных для жизни и безопасных городов. Целью настоящего исследования являлся сравнительный анализ динамики концентраций главных ионов в снежном покрове на метеостанциях Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г.

Материалы и методы исследования

В работе использованы результаты исследования загрязнения снежного покрова ФГБУ «Дальневосточное УГМС» на территории Хабаровского края за период с 2015 по 2022 г. Климат Хабаровского края носит муссонный характер, формируется под влиянием Азиатского континента и Тихого океана. Влияние материка проявляется главным образом в зимний период, когда над Азией устанавливается область высокого давления, а над океаном – область низкого давления. В этот период над территорией края преобладают северо-западные и северные холодные воздушные потоки, направленные от материка к океану. Основное влияние на формирование климата в зимний период оказывает отрог барического азиатского антициклона, обусловленный

вторжением с арктических областей холодных воздушных масс [4–6].

Определение основных характеристик снежного покрова производилось на выбранных и закрепленных на местности снегомерных маршрутах. Снегомерный маршрут на ст. «Хабаровск» – лесной. В зимний период в Хабаровске создаются наиболее неблагоприятные метеоусловия для рассеивания загрязняющих веществ: преобладают юго-западные, западные (66%) и северо-восточные ветры (10%) с наибольшей повторяемостью слабых ветров – 26%. Из-за близкого географического расположения к ст. «Хабаровск» крупной одноименной городской агломерации и провинциального КНР с высокими темпами экономического роста и загрязнения атмосферы [1], не исключено значительное влияние техногенных источников выбросов в атмосферу на химический состав снежного покрова станции. Снегомерный маршрут на ст. «Чегдомын» – лесной. Особенностью этой станции является возможное влияние на качественный состав снежного покрова выбросов от открытых разработок полезных ископаемых в Верхнебуреинском районе края. Снегомерный маршрут на ст. «Аян» – лесной, расстояние от станции до бух. Аянской Охотского моря – 250 м, принят за условно «фоновый».

Снегомерные геохимические съемки, отбор проб, хранение образцов снежного покрова, их химический анализ были выполнены в соответствии с руководством по контролю загрязнения атмосферы РД 52.04.186-89. Содержание исследуемых компонентов (водорастворимых ионов) в талой воде определяли в единицах массовых концентраций – мг/дм^3 и мг-экв/дм^3 . Инструментальный анализ анализируемых загрязняющих веществ был выполнен в аккредитованной лаборатории ФГБУ «Дальневосточное УГМС» (аттестат аккредитации РОСС RU.0001.511390). В снеговой воде определялись концентрации главных ионов: SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^- , HCO_3^- , NH_4^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , а также показатели pH и общей минерализации снеговой воды. При исследовании использовали следующие методы: величину pH определяли потенциометрическим методом; SO_4^{2-} – нефелометрическим; Cl^- – меркуриметрическим; NO_3^- и NH_4^+ – спектрофотометрическим; HCO_3^- – методом обратного титрования. Измерения концентрации растворенных форм соединений металлов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) выполняли на атомно-эмиссионном спек-

трометре с индуктивно-связанной плазмой ICAP 6200 («Thermo Scientific», США). Вклад морских аэрозолей в минерализацию осадков рассчитывали по соотношениям, изложенным в [6].

Результаты исследования и их обсуждение

Величина кислотного показателя снеговой воды ст. «Хабаровск» в исследуемый период изменялась незначительно – рН от 5,56 до 6,39, что соответствовало слабокислым осадкам (рис. 1). Малоснежными зимами 2018–2019 и 2019–2020 гг. величина рН повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса (2018–2019 гг. – 9,6 мм, 2019–2020 гг. – 24,0 мм) (рис. 2). Пробы, отобранные в этот период на ст. «Хабаровск», по степени кислотности можно отнести к нейтральным.

На ст. «Чегдомын» величина кислотности снеговой воды за изученный период мало изменялась (от 5,48 до 6,24): осадки характеризовались как слабокислые.

Сходные результаты были получены по ст. «Аян»: величина кислотности варьировала от 5,63 до 6,06 (слабокислые осадки). Минимальное значение величины рН (5,5) было отмечено на ст. «Чегдомын» (2015–2016 гг.), максимальное (6,9) – на ст. «Хабаровск» (2019–2020 гг.). Для сравнения, на территории Китая величина рН изменялась от 5,45 до 5,94, с наименьшим значением в зимний период – 5,32 [7]. Увеличение рН снеговой воды ст. «Хабаровск» в зимы 2018–2019 и 2019–2020 гг., вероятно, было обусловлено буферизацией кислотности снежного покрова благодаря росту концентрации в атмосферном воздухе взвешенных веществ природного и техногенного происхождения. В исследованиях на северо-востоке Китая было показано [8], что расчетный потенциал подкисления атмосферных осадков не соответствовал значениям, полученным в ходе наблюдений, из-за значительного осаждения основных катионов, преимущественно Ca^{2+} , содержащегося в почвенной пыли, и техногенных взвешенных веществах.

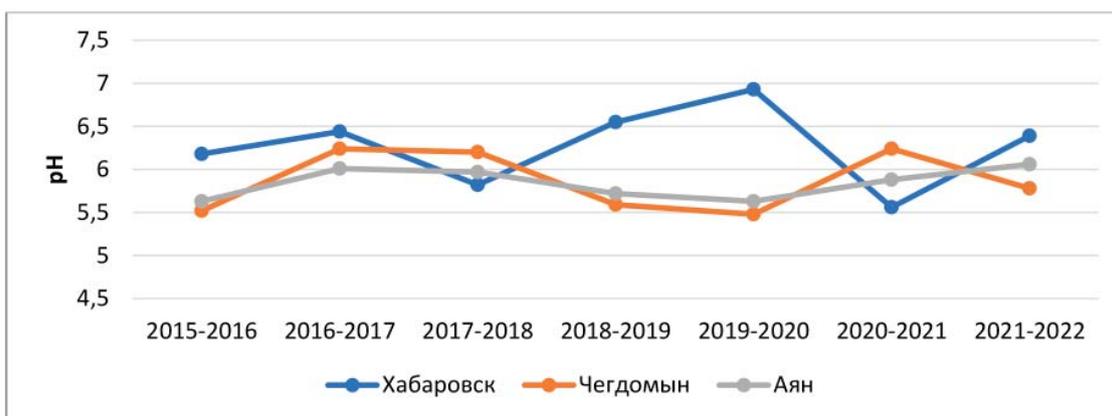


Рис. 1. Изменение рН снеговой воды по метеостанциям Хабаровского края



Рис. 2. Изменения влагозапаса снежного покрова по метеостанциям Хабаровского края



Рис. 3. Изменение минерализации снеговой воды по метеостанциям Хабаровского края

Влагозапас снежного покрова по станциям и годам наблюдений изменялся в широких пределах (рис. 2). На ст. «Хабаровск» изменения наблюдали в пределах от 9,6 мм (2018–2019 гг.) до 104 мм (2021–2022 гг.). Средний влагозапас за исследуемый период составил 55,2 мм, что близко к среднему значению по ст. «Чегдомын» (54,0 мм), расположенной на 329 км севернее ст. «Хабаровск». По ст. «Чегдомын» значения влагозаписа были наиболее стабильны и изменялись в пределах от 34 мм (2020–2021 гг.) до 76 мм (2021–2022 гг.). Максимальные значения и межгодовые изменения влагозаписа были отмечены на ст. «Аян»: минимальное значение (50 мм) наблюдали зимой 2017–2018 гг.; высокие значения отмечали в период с 2015–2016 гг. по 2019–2020 гг. Максимальное значение влагозаписа составило 370 мм, среднее – 218,3 мм, что почти в 4 раза выше средних значений по другим метеостанциям.

Минерализация является важной характеристикой загрязненности снежного покрова, поскольку представляет собой сумму концентраций главных ионов в снеговой воде. Анализ межгодовых изменений содержания водорастворимых ионов показал (рис. 3), что на ст. «Хабаровск» величина минерализации изменялась очень значительно: от минимальных величин в зиму 2017–2018 гг. (14,24 мг/дм³) до максимальных значений в малоснежные зимы 2018–2020 гг. (60,81 и 78,30 мг/дм³).

Наблюдения по ст. «Чегдомын» показали обратную временную зависимость изменения минерализации: в зимы 2018–2020 гг. наблюдали минимальные величины – 8,14 и 6,74 мг/дм³; в остальные изученные периоды величина мало изменялась

от 9,65 (2021–2022 гг.) до 15,18 мг/дм³ (2015–2016 гг.). Медиана значения минерализации по ст. «Хабаровск» составила 25,64 мг/дм³, что было в 2 раза выше величины ст. «Чегдомын» (12,01 мг/дм³). По ст. «Аян» минимальная величина минерализации была отмечена в зиму 2019–2020 гг. (8,63 мг/дм³), максимальная – в 2016–2017 гг. (29,64 мг/дм³). Поскольку по ст. «Аян» из суммарной концентрации сульфат-иона и иона кальция была выделена составляющая, обусловленная морской солью, то скорректированная величина минерализации снеговой воды составила зимой 2019–2020 гг. – 7,96 мг/дм³; в остальные зимние периоды минерализация варьировала от 8,37 (2021–2022 гг.) до 27,07 мг/дм³ (2016–2017 гг.). Медиана минерализации за период наблюдений по ст. «Аян» составила 11,91 мг/дм³. И.И. Кондратьев с соавт. показали [5], что минерализация снежного покрова г. Владивосток зимой 2012–2013 гг. достигала 20,2 мг/дм³, а снега – 24,8 мг/дм³.

Результаты, представленные на рис. 4, показывают пространственное распределение на территории Хабаровского края вероятностей поступлений главных ионов в зимний период за 2015–2022 гг. Судя по межквартильному размаху, более однородными были выборки по ионам HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} на ст. «Хабаровск»; HCO_3^- , Na^+ и Ca^{2+} – на ст. «Чегдомын». На ст. «Аян» более однородны выборки по ионам Na^+ и Cl^- . Большая часть значений в этих выборках сосредоточена вокруг медианы. Выбросы по величинам концентраций были отмечены в отдельные периоды наблюдений: на ст. «Хабаровск» – по ионам NO_3^- и Mg^{2+} , «Чегдомын» – по SO_4^{2-} , «Аян» – по NO_3^- и NH_4^+ .

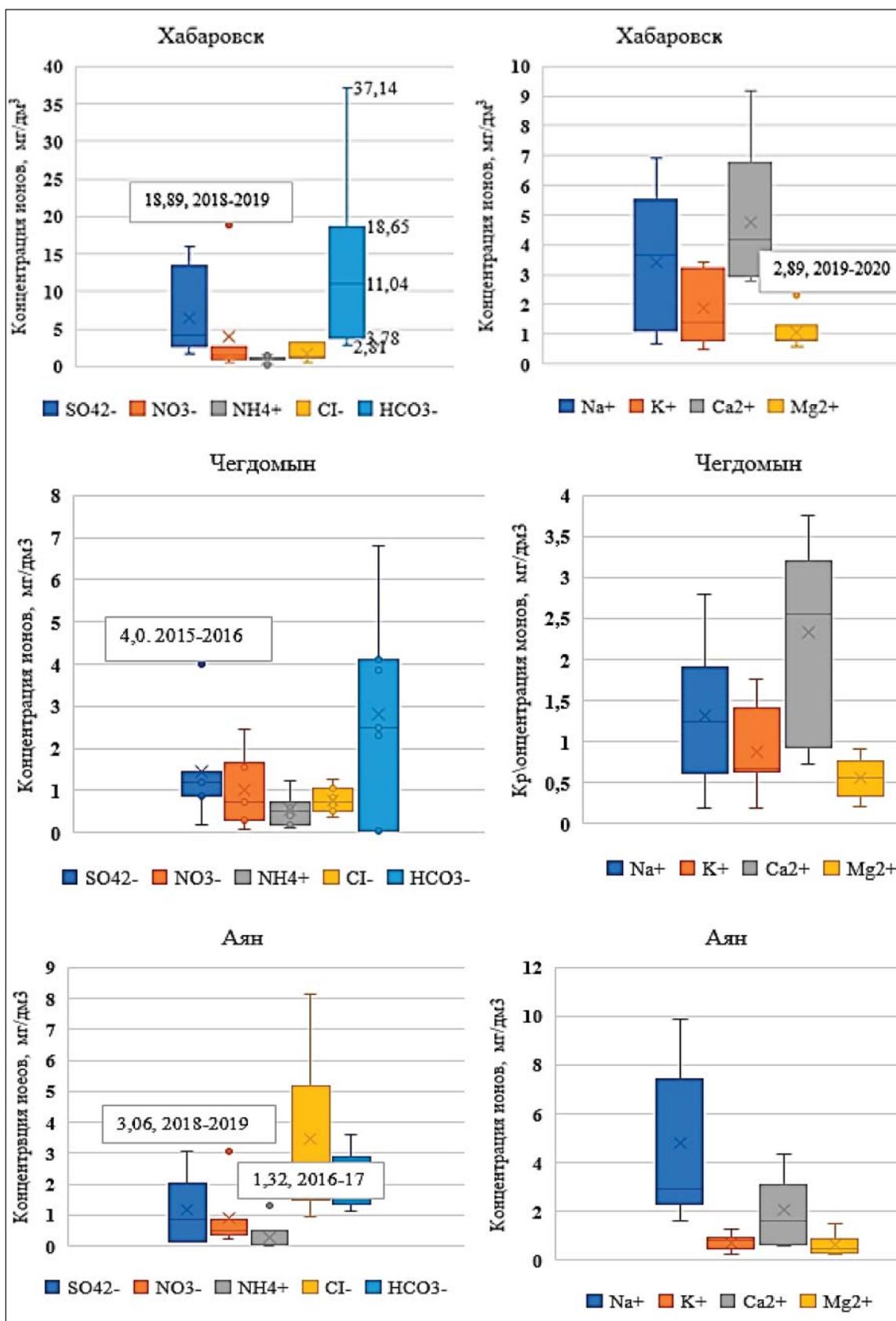


Рис. 4. Поступление главных ионов в снежный покров по метеостанциям Хабаровского края

Результаты наблюдений показали, что по всем метеостанциям отклонение максимальных значений от средних арифметических по концентрации всех главных ионов превышало 100% и изменялось в интервале 161,7–486,5%, что, вероятно, было обусловлено довольно значительной межгодовой изменчивостью величины влагозапаса (рис. 2) Максимальное отклонение от среднего значения было отмечено для NH_4^+ (448,5% – ст. «Аян») и NO_3^- (486,5% – ст. «Хабаровск»). Если рассмотреть средние значения концентрации отдельных ионов в пробах снеговой воды, то можно отметить тенденцию увеличения гидрокарбонатов на ст. «Хабаровск» с зимы 2018–2019 гг., когда влагозапас был минимальным – 9,6 мм (рис. 2). Максимальную величину HCO_3^- наблюдали зимой 2019–2020 гг. на ст. «Хабаровск» – 37,14 мг/дм³. В эту зиму также были зафиксированы максимальные величины катионов металлов: Mg^{2+} – 2,29 мг/дм³; Ca^{2+} – 9,16 мг/дм³; K^+ – 3,23 мг/дм³; Na^+ – 5,52 мг/дм³. Наблюдения по ст. «Чегдомын» выявили тенденцию повышения концентрации карбонатов в снеговой воде в зимы 2020–2021 и 2021–2022 гг. (6,81 и 4,11 мг/дм³). Максимальное содержание сульфатов и хлоридов по ст. «Хабаровск» было отмечено в зимы 2018–2019 и 2019–2020 гг. (13,49–15,9 мг/дм³; 3,1 мг/дм³), нитратов – в зиму 2018–2019 гг.

(18,89 мг/дм³). Для сравнения – в снежном покрове в г. Благовещенск среднее содержание сульфатов – 38,62 мг/дм³ [9].

Изучение геохимии снежного покрова горных ландшафтов Якутии, имеющих низкий уровень техногенного давления (содержание SO_4^{2-} не превышало 0,58–1,07 мг/дм³), показало, что соотношение ионов в снеговой воде подчиняется общей гидрохимической закономерности, в соответствии с которой первым анионом пресных и ультрапресных вод является HCO_3^- (изменение концентрации наблюдали в диапазоне от 7,9 до 10,9 мг/дм³); в катионном составе основным ионом является Ca^{2+} (1,1–3,1 мг/дм³) [10]. Полученные авторами результаты близки к содержанию ионов HCO_3^- и Ca^{2+} в снеговой воде ст. «Чегдомын», но соотношение ионов в исследованный временной период было иным. Следует отметить, что на ст. «Аян», условно принятой в качестве региональной «фоновой», соотношение макрокомпонентов в снеговой воде заметно отличалось от значений, полученных в исследовании на территории Якутии, что указывало на наличие техногенного загрязнения атмосферы. По соотношению молярных концентраций ионов в снеговой воде в начале (2015–2016 гг.) и конце периода исследований (2021–2022 гг.) были получены следующие ряды, свидетельствующие об изменении доминирующих ионов:

ст. «Хабаровск»: $\text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+$;
 $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{NO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Cl}^- > \text{NH}_4^+$;
 ст. «Чегдомын»: $\text{SO}_4^{2-} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Cl}^- > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{NH}_4^+ > \text{HCO}_3^-$;
 $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NH}_4^+ > \text{NO}_3^-$;
 ст. «Аян»: $\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^- > \text{K}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$;
 $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+ > \text{Cl}^- > \text{K}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{NO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{NH}_4^+$.

Представленные соотношения главных ионов указывают на тенденцию изменения химического состава снежного покрова по всем метеостанциям – главным ионом становится HCO_3^- . В работе [11] отмечалось, что преобладающее воздействие глобальных и/или региональных антропогенных источников (в основном пыли) зимой на юге Дальнего Востока нивелирует сернокислотное техногенное влияние. Известно, что основными источниками поступления в атмосферный воздух катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} являются аэрозоли морской соли, пыль эоловых отложений, промышленные выбросы и взвешенные вещества, связанные с транспортом. Источники выбросов NO_x и SO_x включают объекты энергетики и теплоснаб-

жения, автотранспорт, промышленность, полигоны ТКО. Источники выбросов NH_3 – сельское хозяйство, полигоны ТКО, последствия лесных пожаров, промышленность [1, 2]. Анионы сульфатов и нитратов обычно образуются в атмосферном воздухе в результате окисления SO_2 и NO_2 , а застойные метеорологические условия, которые характерны зимой для ст. «Хабаровск» и «Чегдомын», приводят к повышению концентрации SO_2 и NO_2 в атмосфере и, как следствие, к большему выпадению загрязняющих веществ на снежный покров [7, 12].

Заключение

Наблюдения за химическим составом снежного покрова на метеостанциях Хаба-

ровского края с 2015 по 2022 г. показали, что по величине рН снеговой воды осадки характеризовались как слабокислые. На ст. «Хабаровск» преобладающее воздействие в зимний период глобальных и/или региональных техногенных и природных источников взвешенных веществ нивелировало величину рН снеговой воды: кислотно-основные свойства определялись избытком нейтрализующих катионов и дефицитом анионов. В малоснежные годы величина рН повышалась до 6,55–6,93 на фоне минимальных величин среднего влагозапаса снежного покрова. Межгодовые изменения величины минерализации снежного покрова на ст. «Хабаровск» были очень значительными: от минимальных величин в зиму 2017–2018 гг. (14,24 мг/дм³) до максимальных значений, отмеченных в малоснежные зимы 2018–2020 гг. (60,81 и 78,30 мг/дм³). На ст. «Хабаровск» с зимы 2018–2019 гг. можно отметить тенденцию увеличения гидрокарбонатов в снежном покрове (до максимального значения 37,14 мг/дм³ в 2019–2020 гг.). В эти временные периоды отмечали максимальное содержание сульфатов (13,49–15,9 мг/дм³) и нитратов (18,89 мг/дм³ в 2018–2019 гг.). На ст. «Хабаровск» и «Чегдомын» основной вклад в величину кислотности снежного покрова вносят сульфаты, вероятно имеющие антропогенное происхождение.

По всем метеостанциям была отмечена значительная межгодовая изменчивость содержания главных ионов в снеговой воде, что указывало на локальный характер загрязнения атмосферных осадков. Анализ поступления главных ионов в снежный покров показал, что по межквартильному размаху более однородными были выборки по ионам HCO_3^- , Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , SO_4^{2-} на ст. «Хабаровск»; HCO_3^- , Na^+ и Ca^{2+} – на ст. «Чегдомын»; по ионам Na^+ и Cl^- – на ст. «Аян». Большая часть значений в этих выборках сосредоточена вокруг медианы.

Эффект нейтрализации кислотных компонентов в снеговой воде осаждением основных катионов и возможное смещение потенциала подкисления осадков, вероятно, связаны с ростом загрязненности атмосферного воздуха над Хабаровской городской агломерацией в зимний период. Значитель-

ный диапазон колебаний содержания главных ионов в снежном покрове ст. «Аян» указывает на ошибочность решения о выборе ее в качестве условно «фоновой». Причинами колебаний могут быть природно-климатические факторы и влияние локальных источников загрязнения атмосферы, обуславливающих высокие концентрации сульфатов и нитратов.

Список литературы

1. Duan L., Yu Q., Zhang Q., Wang Z., Pan Y., Larssen T., Mulder J. Acid deposition in Asia: Emissions, deposition, and ecosystem effects // *Atmospheric Environment*. 2016. Vol. 146. P. 55–69. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2016.07.018.
2. Vet R., Artz R.S., Carou S., Shaw M., Ro C.U., Aas W., Reid N.W. A global assessment of precipitation chemistry and deposition of sulfur, nitrogen, sea salt, base cations, organic acids, acidity and pH, and phosphorus // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol. 93. P. 3–100. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2013.10.060.
3. Obolkin V., Khodzher T., Sorokovikova L., Tomberg I., Netsvetaeva O., Golobokova L. Effect of long-range transport of sulphur and nitrogen oxides from large coal power plants on acidification of river waters in the Baikal region, East Siberia // *International Journal of Environmental Studies*. 2016. Vol. 73 (3). P. 452–461. DOI: 10.1080/00207233.2016.1165481.
4. Галушин Д.А., Громов С.А., Авдеев С.М. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории Приморского края за период с 2011 по 2020 г. // *Успехи современного естествознания*. 2022. № 3. С. 42–48.
5. Кондратьев И.И., Муха Д.Э., Болдескул А.Г., Юрченко С.Г., Луценко Т.Н. О химическом составе атмосферных осадков и снежного покрова в Приморском крае // *Метеорология и гидрология*. 2017. № 1. С. 91–100.
6. Кондратьев И.И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока // *География и природные ресурсы*. 2009. № 3. С. 31–36.
7. Li R., Cui L., Zhao Y., Zhang Z., Sun T., Li J., Fu H. Wet deposition of inorganic ions in 320 cities across China: spatio-temporal variation, source apportionment, and dominant factors // *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2019. Vol. 19 (17). P. 11043–11070.
8. Cao J., Tie X., Dabberdt W.F., Jie T., Zhao Z., An Z., Feng Y. On the potential high acid deposition in northeastern China // *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2013. Vol. 118 (10). P. 4834–4846. DOI: 10.1002/jgrd.50381.
9. Радомская В.И., Юсупов Д.В., Павлова Л.М. Макрокомпонентный состав снежного покрова г. Благовещенска // *Вода: химия и экология*. 2014. № 8. С. 95–103.
10. Кириллин А.Р., Макаров В.Н. Геохимия снежного покрова горных мерзлотных ландшафтов Эльконского ураново-рудного района // *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2016. № 4 (84). С. 64–69.
11. Чудаева В.А., Чудаев О.В., Юрченко С.Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // *Водные ресурсы*. 2008. № 35 (1). С. 60–71.
12. Yu H., He N., Wang Q., Zhu J., Gao Y., Zhang Y., Yu G. Development of atmospheric acid deposition in China from the 1990s to the 2010s // *Environmental Pollution*. 2017. Vol. 231. P. 182–190. DOI: 10.1016/j.envpol.2017.08.014.