

6. Andrianov V. A., Sokirko G. I. Sostoyanie poverkhnostnykh vod rayona AGK [Status of surface water area AGK] *Vestnik Kabardino-Balkarskogo universiteta. Seriya Biologicheskie nauki* [Bulletin of the University of Kabardino-Balkaria. Series of Biological Sciences], Nalchik, Publisher University of Kabardino-Balkaria, 2004, issue 6, pp. 30–34.

7. Golubov N. V. Tyazhelye metally v vode Tsimlyanskogo vodokhranilishcha [Heavy metals in the water reservoir Tsimlyansk]. *Vodnye resursy* [Water resources], 1994, vol. 21, no. 2, pp. 176–181.

8. Patin S. A. Soderzhanie i raspredelenie zagryaznyayushchikh veshchestv (tyazhelykh metallov, nefteproduktov, fenolov, khlororganicheskikh soedineniy) v Nizhney Volge i delte r. Volga [The content and distribution of contaminants (heavy metals, oil products, phenols, chlorinated organic compounds) in the Lower Volga and Volga Delta]. *Obzor po materialam 1980–1989 gg.* [Review of Materials 1980-1989], Moscow, 1989. – 79 p.

9. Purmal A. P. Antropogennaya toksikatsiya planety [Human-induced intoxication of the planet]. *Khimiya* [Chemistry], 1998, pp. 39–51.

10. Serebryakova O. A. Geoekologicheskie svoystva neftey novykh mestorozhdeniy Kaspiyskogo morya [Geological characteristics of new oil fields in the Caspian Sea]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 3 (46), pp.103–113.

11. Serebryakova O.A. Geologicheskie osobennosti osvoeniya neftey yugo-vostochnogo Prikaspiya [Geological features of the development of petroleum southeastern Caspian]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 4 (47), pp. 34–40.

12. Serebryakova O. A., Smirnova T. S. Organicheskoe veshchestvo podzemnykh vod kak naibolee effektivnyy kriteriy otsenki neftegazonosnosti Kaspiyskogo morya [Organic matter underground water as the most effective criterion of the Caspian Sea oil and gas]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], Moscow, 2012, no. 3, pp. 86–93.

13. Serebryakova O. A. Formirovanie geologicheskoy modeli i sozdanie bazy dannykh geologicheskoy i tekhnologicheskoy informatsii [Formation of the geological model and database of geological and technological information]. *Geologiya, geografiya i globalnaya energiya* [Geology, Geography and Global Energy], 2012, no. 4 (47), pp. 69–76.

14. Serebryakova O. A. Kharakteristika gazov novykh mestorozhdeniy severnoy chasti Kaspiyskogo morya [Characterization of new gas fields of the northern Caspian Sea]. *Gazovaya promyshlennost* [Gas industry], Moscow, 2012, no. 4, pp. 45–52.

15. Chuykov Yu. S., Bukharitsin P. I., Kisileva L. A., Filchakov V. A., Saprykin V. N., Labunskaya Ye. N.; Chuykova Yu. S. (ed.) *Gidrologo-gidrobiologicheskiy rezhim nizhney Volgi. Ekologiya Astrakhanskoy oblasti* [], Astrakhan, 1996, issue 4. 253 p.

ГЕНЕЗИС И СПЕЦИФИКА ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ СУЛЬФАТ - И ГИДРОКАРБОНАТ-ИОНОВ В ХИМИЧЕСКОМ СОСТАВЕ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ НА СЕВЕРЕ РУССКОЙ РАВНИНЫ

Рысаева Ирина Анатольевна, соискатель

Казанский (Приволжский) федеральный университет
420043, Россия, г. Казань, ул. Вишневского, 10/175
E-mail: rysira85@mail.ru

В статье на базе пространственно-временного анализа изложены причины изменчивости рассматриваемых макрокомпонентов в химическом составе атмосферных осадков региона севера Русской равнины. Основываясь на использовании метода корреляционного анализа данных макрокомпонентов между

метеостанциями европейского севера, осуществляется построение уравнений линейной регрессии для анализируемых анионов в атмосферных осадках региона. Выявлены и обозначены фоновый и так называемый постфоновый периоды в распределении концентраций сульфат- и гидрокарбонат-ионов по метеостанциям севера европейской части России за период с 1991 по 2011 гг. Установлено, что так называемый фоновый уровень содержания SO_4^{2-} и HCO_3^- в химическом составе атмосферных осадков региона, где значения их концентраций находятся в пределах 0,5–5,5 мг/л, характерен для метеостанций в н.п. Сура и Брусовица. Тогда как экстремальные значения SO_4^{2-} в осадках, достигавшие в конце 90-х гг. XX в. более 60 мг/л, зафиксированы на метеостанциях, расположенных в городах Архангельск, Череповец, Ухта. Было выявлено доминирование гидрокарбонат-ионов в составе осадков на метеостанции Ухта в середине 90-х гг. прошлого столетия (37–42 мг/л). И ввиду того, что содержание HCO_3^- в осадках является индикатором уровня CO_2 , было сделано предположение о влиянии антропогенного фактора в распределении концентраций данного иона на метеостанции в г. Ухта. Основными источниками загрязнения воздушного бассейна CO_2 города являются предприятия угледобывающей, газовой, нефтегазовой, теплоэнергетической и других отраслей промышленности. Кроме того, был установлен факт существенного снижения концентраций сульфат- и гидрокарбонат-ионов в химическом составе атмосферных осадков региона севера Русской равнины в первое десятилетие XXI в.

Ключевые слова: пространственно-временной анализ, метеостанция, концентрация, корреляционный анализ, атмосферные осадки

GENESIS AND SPECIFICS OF EXISTENTIAL VARIABILITY SULFATE-AND HYDROCARBONATE IONS IN A CHEMICAL COMPOSITION OF AN ATMOSPHERIC PRECIPITATION IN THE NORTH OF EAST EUROPEAN PLAIN

Rysaeva Irina A.

Competitor

Kazan (Volga) Federal University

10/175 Wisniewski st., Kazan, Republic of Tatarstan, 420043

E-mail: rysira85@mail.ru

In article realizes the space- temporary analysis and form causes change of the analyze components at the chemical structure of precipitations in the north of the Russian plain. This article uses the method of the correlation analysis of this macrocomponents between meteorostations of European north; also make a construction equation of the linear regression for analytical macrocomponents at the atmospheric precipitations of the region. In this work are discover and denote back ground and so-called post- back ground period in the distribution concentration of sulfate-and hydrocarbonate ions on the meteorological stations of the European part of Russia from 1991 to 2011 years. It's established that so-called back ground level of the maintenance of SO_4^{2-} and HCO_3^- in a chemical composition of an atmospheric precipitation of the region where values of their concentration are in limits of 0,5–5,5 mg/l, is characteristic for meteorological stations in Sura and Brusovitsa. Whereas extreme SO_4^{2-} values – in a precipitation, of the XX century reaching in the late nineties more than 60 mg/l, Cherepovets, Ukhta are recorded on the meteorological stations located in the cities of Arkhangelsk. Domination a hydrocarbonate ion as a part of a precipitation on a meteorological station Ukhta in the mid-nineties of last century (37–42 mg/l) was revealed. And in a type of that the maintenance of HCO_3^- in a precipitation is the CO_2 level indicator, the assumption of influence of an anthropogenous factor in distribution of concentration of this ion to meteorological stations in Ukhta was made. The main sources of pollution of the air pool of CO_2 of the city are the enterprises coal-mining, gas, oil and

gas, heat power and other industries. Besides, there was an established fact of essential decrease in concentration sulfate – and hydrocarbonate ions in a chemical composition of an atmospheric precipitation of the region of the North of East European Plain in the first decade of XXI century.

Keywords: space-temporary analysis, meteostation, concentration, correlation analysis, atmospheric precipitations

В проблеме антропогенной трансформации окружающей среды (ОС) особое место занимает загрязнение атмосферы. При исследовании экологического состояния атмосферы ключевое значение приобретает установление фонового уровня распространенности химических веществ, характеризующего состояние атмосферы [12]. В результате хозяйственной деятельности концентрация различных веществ может быть как выше, так и ниже фоновых значений, а в экологической химии атмосферы существует проблема в подходе выделения природной и антропогенной составляющей для измеренных общих концентраций различных веществ в этой среде.

В качестве одного из путей определения относительной значимости природных и антропогенных источников загрязнения атмосферы целесообразно рассматривать подход, основанный на выяснении фоновых и аномальных концентраций тех или иных элементов в воздухе и нахождение источников геохимических аномалий [4]. В основу другого подхода, который также может быть использован, целесообразно положить анализ временных трендов распространенности веществ в атмосфере и сопоставление их с имеющимися сведениями об изменении антропогенных эмиссий.

Подобные исследования имеют существенную теоретико-практическую значимость, поскольку позволяют судить об экологическом состоянии и уровне загрязненности атмосферы с целью последующего выбора приоритетных направлений по контролю и улучшению ее состояния.

В данной работе с использованием «симбиозного» характера вышеизложенных подходов осуществлено выяснение специфики формирования, происхождения и пространственно-временной изменчивости сульфат- (SO_4^{2-}) и гидрокарбонат-ионов (HCO_3^-) в атмосферных осадках севера Русской равнины за период с 1991 по 2011 гг.

Реализация поставленной цели, естественно, потребовала решения комплекса взаимосвязанных задач:

1) Восстановить единичные пропуски наблюдений в значениях концентрации SO_4^{2-} и HCO_3^- методом корреляционного и регрессионного анализов с целью полноценного анализа временного распределения концентраций анализируемых макрокомпонентов в химическом составе осадков (ХСО) региона севера Русской равнины.

2) Выявить и обозначить фоновый и постфоновый периоды в распределении концентраций указанных ионов по метеостанциям (МС) севера Русской равнины за период с 1991 по 2011 гг.

3) Проанализировать основные тенденции в изменчивости значений SO_4^{2-} и HCO_3^- в ХСО региона в соответствии с выявленными периодами.

4) Определить генезис, основные пути и механизмы поступления анализируемых макрокомпонентов в ХСО исследуемого региона.

Материалы и методы исследования

Основу написания статьи составили материалы регулярных ежемесячных наблюдений за содержанием сульфат и гидрокарбонат-ионов в ХСО по 5 МС региона исследования за период с 1991 по 2011 гг. Данные по концентрациям анализируемых макрокомпонентов получены в ГГО им. А.И. Воейкова и Северном управлении по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды.

Наличие единичных пропусков наблюдений за содержанием SO_4^{2-} и HCO_3^- в ХСО региона определило задачу их восстановления с использованием метода корреляционного и регрессионного анализов в программе STATGRAFICS Plus.

Первый из них сводится, прежде всего, к измерению степени тесноты сопряженности между варьирующими признаками, а в качестве меры линейной связи, как известно, наибольшее распространение получил линейный коэффициент корреляции [2, 7]. Статистический анализ регрессии – это регрессионный анализ, содержание которого состоит в определении общего вида уравнения регрессии, построении оценок неизвестных параметров, входящих в него и проверка стратегических гипотез о регрессии [1].

В атмосферных осадках сульфат-ионы чаще всего занимают преобладающее положение, поскольку в метеорных водах отсутствуют агенты, препятствующие их миграции. Однако концентрация сульфатов в осадках обусловлена не только их высокой подвижностью, но и обилием источников пополнения атмосферы данным компонентом в континентальных условиях [11]. Из природных источников серосодержащих соединений важную роль играют биогенные выбросы почвы и продукты жизнедеятельности растений. В осадках, формирующихся над морскими акваториями, сульфат-ионы, как известно, уступают первенство хлоридным, и ведущая роль морей в снабжении атмосферы ионами, как правило, ограничивается пределами прибрежной полосы [15].

В последние десятилетия, движущей силой, трансформирующей химический состав метеорных вод, является антропогенный фактор: прежде всего, промышленные предприятия, которые загрязняют атмосферу сернистыми газами, являющимися источниками образования ядер конденсации. Сульфаты выделяются при сжигании топлива и в ходе таких промышленных процессов как нефтепереработка, производство цемента и гипса, а также гидрокарбонат-ионов в атмосферных осадках во многом обусловлен продуктами выветривания почвы, углекислым газом воздуха и почвенной пылью, которая в виде карбонатов кальция, магния и натрия вымывается осадками из воздуха [3]. Дополнительно к этому, в условиях высокоурбанизированных территорий, деятельность многих стационарных источников способствует увеличению выбросов углекислого газа, источники которых определяют концентрацию HCO_3^- в осадках.

Ландшафтные особенности региона севера Русской равнины

Исследуемый регион представляет собой территориальную единицу с выраженной локализацией своих границ: на севере – Белым и Баренцевым морями, на западе – бассейном Онежского озера, на востоке – отрогами северного Урала [9].

Особенности климата региона определяются малым количеством солнечной радиации, воздействием северных морей, интенсивным западным пе-

реносом воздушных масс [10]. Особенностью циркуляционных условий территории является частая смена воздушных масс вследствие прохождения барических образований, действие которых придает выраженную контрастность климатическим условиям в годовом ходе, и предопределяет специфику химического состава атмосферных выпадений.

Специфика гидрологического «устройства» региона определяется влиянием метеопредикторов и условиями стокоформирования в пределах равнинных территорий. Гидрологический потенциал формируют более 138 тыс. рек, главнейшими из которых, как известно, являются Сев. Двина, Печора, Онега, Мезень; озера, преимущественно, ледникового происхождения и болота, в большинстве своем, верхового типа [13, 14].

Результаты и их обсуждение

Как отмечалось, содержание одной из реализуемых задач работы состояло в восстановлении единичных пропусков наблюдений в значениях концентрации SO_4^{2-} и HCO_3^- методом корреляционного и регрессионного анализов. В результате восстановлен 51 пропуск анализируемых макрокомпонентов в осадках по пяти МС севера Русской равнины: Архангельск, Череповец, Ухта, Брусовица и Сура.

Получены коэффициенты корреляции, при анализе которых в последующем постулировалось линейное уравнение регрессии по месяцам. Между выборками, полученными на данных МС, встречался коэффициент корреляции, превышающий 0,7 с уровнем значимости менее 0,05 (табл. 1, 2).

Таблица 1

Материалы корреляционного и регрессионного анализов концентрации SO_4^{2-} в атмосферных осадках МС на севере Русской равнины по месяцам

Наименование МС	Вид линейного уравнения регрессии	Коэффициент корреляции
Апрель		
Архангельск	Архангельск=0,517181+2,39964*	0,86 0,74
	Брусовица Архангельск=-4,74458+4,11197*Сура	
Июнь		
Архангельск	Архангельск=1,06596+1,40689* Северодвинск	0,57
Ноябрь		
Череповец	Череповец=3,75766+0,820551*Белозерск	0,76

Таблица 2

Результаты корреляционного и регрессионного анализов концентрации HCO_3^- в атмосферных осадках МС на севере Русской равнины по месяцам

Наименование МС	Вид линейного уравнения регрессии	Коэффициент корреляции
Январь		
Брусовица	Брусовица= $1,73374+4,34056 \cdot \text{Северодвинск}$ Брусовица= $2,98626+1,01048 \cdot \text{Сура}$	0,70 0,64
Сура	Сура= $-0,210209+0,963397 \cdot \text{Усть-Вымь}$	0,57
Ухта	Ухта= $9,02406+3,41608 \cdot \text{Мудьюг}$	0,63
Февраль		
Череповец	Череповец= $20,5098-15,7865 \cdot \text{Усть-Вымь}$	-0,51
Архангельск	Архангельск= $0,774748+0,113218 \cdot \text{Вологда}$ Архангельск= $3,42196+0,424837 \cdot \text{Сыктывкар}$	0,54 0,51
Май		
Архангельск	Архангельск= $-1,50439+1,98026 \cdot \text{Усть-Вымь}$ Архангельск= $-2,44589+0,406206 \cdot \text{Троицко-Печорск}$	0,64 0,51
Брусовица	Брусовица= $1,10011+0,546477 \cdot \text{Мудьюг}$	0,62
Ухта	Ухта= $13,0944+2,79224 \cdot \text{Усть-Вымь}$	0,66

Следует особо подчеркнуть, что обращает на себя внимание факт того, что анализируемые МС характеризуются неравномерностью территориального расположения и неравнозначностью техногенного воздействия на ОС. Так, в частности, МС в г. Архангельск, Череповец, Ухта выступают в роли центров эмиссии загрязняющих веществ, тогда как н.п. Брусовица и Сура можно отнести к незагрязненным регионам.

Исходя из изложенного выше, природный уровень содержания SO_4^{2-} и HCO_3^- в ХСО, где значения их концентраций варьируют, в основном, в пределах 0,5–5,5 мг/л, характерен для МС, расположенных в н.п. Сура и Брусовица. В крупных промышленных городах (Архангельск, Череповец, Ухта), где ощутимо антропогенное воздействие на химический состав осадков, концентрации сульфатов и гидрокарбонатов последних повышаются. Влияние указанных МС, четко выделяется период (1991–2000 гг.), связанный с интенсивной аккумуляцией сульфат-ионов в ХСО региона, когда средние значения концентрации SO_4^{2-} в осадках территории варьировали в интервале 5–25 мг/л, превышая в отдельные годы значения 50–60 мг/л (рис. 1).

Экстремальные значения данного макрокомпонента за указанный период зафиксированы на МС Архангельск (февраль 1993 г. – 50,5 мг/л), Череповец (февраль 1994 г. – 32,8 мг/л), Ухта (апрель 1998 г. – 68,0 мг/л).

Если связывать увеличение доли сульфатов в ХСО региона в указанное время с влиянием деятельности промышленных предприятий, то примечателен факт того, что оно связано с глубокими структурными перестройками в стране, как следствие, повлекшее за собой застой в экономике. В связи с этим, подобные, столь высокие уровни концентраций кислотообразующего поллютанта в осадках, можно объяснить значительным влиянием трансграничного переноса со стороны промпредприятий западных и других экономических регионов ЕТР, и, наконец, стран Центральной и Восточной Европы.

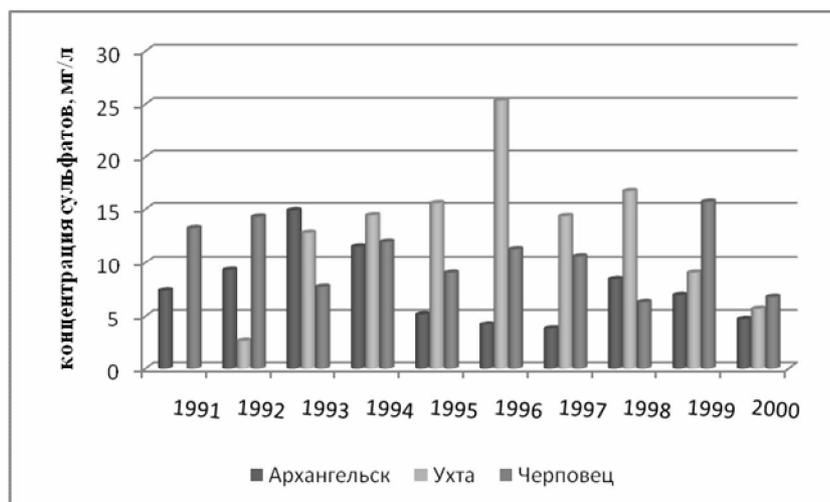


Рис. 1. Среднегодовое изменение концентраций сульфатов в атмосферных осадках на МС Архангельск, Ухта, Череповец за период 1991–2000 гг.

Второй период, приходящийся на 2000-е гг., ознаменован снижением доли сульфат-ионов в ХСО севера Русской равнины. Так, к примеру, на МС Череповец, величина SO_4^{2-} в атмосферных осадках здесь в среднем не превышала 6 мг/л, в Ухте – не более 4 мг/л. Уменьшение данного макрокомпонента в осадках, по-видимому, является следствием снижения производственных мощностей, внедрения более прогрессивных технологий, снижающих негативное воздействие на ОС, действий служб контроля за состоянием атмосферы и водоемов. При анализе геохимического распределения сульфатов по выбранным МС, можно выявить закономерность, связанную с увеличением их доли в ХСО в зимне-весенний период (табл. 3).

Таблица 3

Величины концентраций сульфат-иона на ряде МС севера Русской равнины в зимне-весенний периоды

Наименование МС	Месяц/год	Концентрация, мг/л
Архангельск	II/1993	50,5
	IV/1993	29,20
Брусовица	XII/1990	8,90
Сура	II/1991	7,90
Ухта	XII/1994	20,00
	IV/1993	43,50
Череповец	I/1991	18,70

Наиболее вероятной причиной регистрируемого внутригодового хода концентраций сульфатов в осадках является увеличение объема выбросов в атмосферу продуктов сгорания ископаемого топлива (Архангельская ТЭЦ), расходуемого для отопления жилых и производственных помещений [2]. Однако поскольку подобное же явление отмечается и в регионах, где нет промышленной насыщенности, надо думать, что существует и другой источник, снабжающий гидрометеоры сульфатами. По-видимому, в зимнее время, вследствие ослабления влияния почв и горных пород, скрытых под снежным

покровом, усиливается воздействие лесной растительности, обогащающей гидрометеоры сульфатами.

Как и в случае с сульфат-ионами, природный уровень другого анализируемого макрокомпонента HCO_3^- можно было четко наблюдать на МС Сура и Архангельск, где за все двадцатилетие средние значения концентрации иона в осадках находились в диапазоне 0,19-6,8 мг/л (рис. 2) [5, 6].

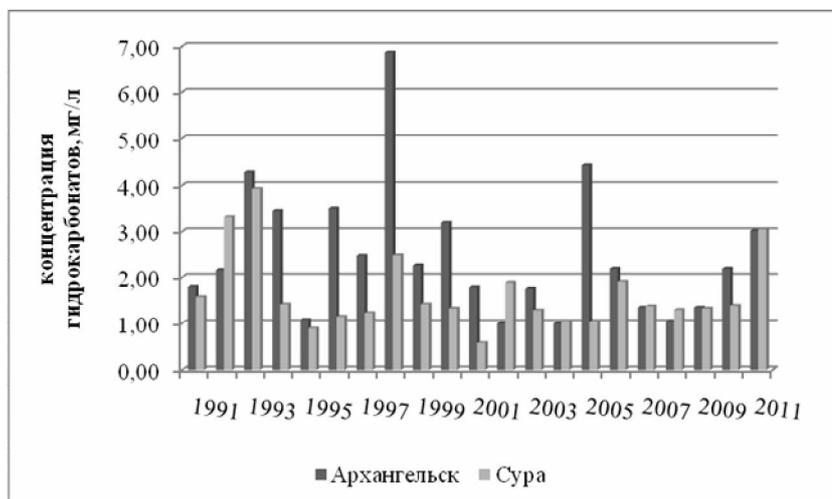


Рис. 2. Среднемноголетняя изменчивость концентраций гидрокарбонатов в атмосферных осадках на МС Архангельск и Сура за период 1991–2011 гг.

На МС Череповец превалирование гидрокарбонат-ионов в XCO , равно как и в отношении сульфатов, во временном аспекте наблюдалось в период с 1991 по 2000 гг., достигая в отдельные годы 25 мг/л. Доминирование пиковых значений HCO_3^- в составе осадков можно видеть на МС Ухта на протяжении всего анализируемого периода. Так, в частности, в 1996 г. средняя величина гидрокарбонат-ионов составила здесь 42,1 мг/л, в 1997 г. – 37,5 мг/л. Принимая во внимание тот факт, что содержание HCO_3^- в осадках является индикатором уровня CO_2 , указанные особенности распределения концентраций в выпадении гидрокарбонатов можно объяснить ролью промышленности г. Ухта [4]. Основными стационарными источниками загрязнения воздушного бассейна CO_2 города являются предприятия угледобывающей, газовой (ООО «Газпромтрансгаз Ухта»), нефтегазовой («Лукойл-Ухтанефтегаз»), нефтеперерабатывающей (ООО «Лукойл-Ухтанефтепереработка»), наконец, теплоэнергетической и других отраслей.

Первое десятилетие XXI в., аналогично сульфат-ионам, подчеркнем, ознаменовалось существенным снижением доли HCO_3^- в химическом составе осадков европейского севера, составив не более 3,5 мг/л.

Выполненная работа позволяет сделать ряд выводов:

1. Использование методов корреляционного и регрессионного анализа позволило заполнить существующие пропуски в количестве 51 в значениях концентрации сульфат и гидрокарбонат-ионов в атмосферных осадках по ряду МС. На основании полученных коэффициентов корреляции постулировались линейные уравнения регрессии.

2 Установлено, что для МС, расположенных в н.п. Сура и Брусовица, характерен т.н. природный уровень содержания анализируемых макрокомпонентов в осадках, где значения их концентраций варьируют в пределах 0,5–5,5 мг/л.

3. На основании информации многолетних наблюдений на режимных МС делается вывод о значительном повышении содержания сульфатов в атмосферных осадках в регионах, подверженных техногенному воздействию. Подобная закономерность выявлена на примере МС, расположенных в г. Архангельск, Череповец, Ухта, где аккумуляция SO_4^{2-} в осадках регистрировалась в 90-е гг. и их спад в начале XXI столетия.

4. В очередной раз подтверждена закономерность и обозначены причины увеличения концентраций сульфатов в атмосферных осадках в зимне-весенний период на анализируемых МС.

5. Анализ данных многолетних наблюдений за содержанием гидрокарбонатов в атмосферных осадках показал, что минимальная их доля зафиксирована на МС Сура и Архангельск (0,19–6,8 мг/л), в то время как доминирование HCO_3^- характерно для осадков МС в г. Ухта.

Список литературы

1. Брукс К. Применение статистических методов в метеорологии / К. Брукс, Н. Карузерс. – Ленинград : Государственное гидрометеорологическое издательство, 1963. – 415 с.
2. Верещагин М. А. Статистические методы в метеорологии / М. А. Верещагин, Э. П. Наумов, К. М. Шанталинский. – Казань : Издательство Казанского университета, 1990. – 106 с.
3. Горев Л. Н. Региональная гидрохимия / Л. Н. Горев, А. М. Никаноров, В. И. Пелешенко. – Киев : Высшая школа, 1989. – 280 с.
4. Копотева Т. Н. Атмосферные выпадения HCO_3^- в междуречье рр. Печора и Северная Двина и их влияние на речной сток / Т. Н. Копотева, В. А. Федорова // Современные проблемы геохимии. – Иркутск, 2011. – С. 169–171.
5. Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2010 г. – Архангельск, 2011. – 177 с.
6. Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2011 г. – Архангельск, 2012. – 193 с.
7. Пановский Г. А. Статистические методы в метеорологии / Г. А. Пановский, Г. В. Брайер. – Ленинград : Государственное гидрометеорологическое издательство, 1972. – 200 с.
8. Посохов Е. В. Ионный состав природных вод. Генезис и эволюция / Е. В. Посохов. – Ленинград : Государственное гидрометеорологическое издательство, 1985. – 254 с.
9. Природная среда европейской части СССР. Опыт регионального анализа / под ред. А. Ф. Мандыча. – Москва, 1989. – 229 с.
10. Рихтер Г. Д. Север европейской части СССР / Г. Д. Рихтер, А. Г. Чикишев. – Москва : Мысль, 1966. – 236 с.
11. Савенко В. С. Природные и антропогенные источники загрязнения атмосферы / Серия Охрана природы и воспроизводство природных ресурсов. / В. С. Савенко. – Москва, 1991. – Т. 31. – 209 с.
12. Современные глобальные изменения природной среды / под ред. Н. С. Касимова, Р. К. Клиге. – Москва : Научный мир. – 2006. – 696 с.
13. Физическая география СССР. – Москва : Высшая школа, 1976. – Издание 2. – 272 с.

14. Филенко Р. А. Гидрологическое районирование севера Европейской части СССР / Р. А. Филенко. – Ленинград : Издательство Ленинградского университета, 1974. – 223 с.
15. Чернобаев И. П. Химия окружающей среды / И. П. Чернобаев. – Киев : Высшая школа, 1990. – 191 с.

References

1. Bruks K., Karuzers N. *Primenenie statisticheskikh metodov v meteorologii* [Application of statistical methods in meteorology], Leningrad, State Hydrometeorological Publishing, 1963. 415 p.
2. Vereshchagin M. A., Naumov E. P., Shantalinskiy K. M. *Statisticheskie metody v meteorologii* [Statistical methods in meteorology], Kazan, Publisher University of Kazan, 1990. 106 p.
3. Gorev L. N., Nikanorov A. M., Peleshenko V. I. *Regionalnaya gidrokhimiya* [Regionalnaya hydrochemistry], Kiev, Higher school, 1989. 280 p.
4. Kopoteva T. N., Fedorova V. A. Atmosfernye vypadeniya HCO_3^- v mezhdureche rr. Pechora i Severnaya Dvina i ikh vliyanie na rechnoy stok [Atmospheric deposition HCO_3^- in the area between rivers. Northern Dvina and Pechora and their impact on river discharge]. *Sovremennye problemy geokhimii* [Modern problems of geochemistry], Irkutsk, 2011, pp. 169–171.
5. *Obzor zagryazneniya okruzhayushchey sredy na territorii deyatel'nosti FGBU «Severnoe UGMS» za 2010 g.* [The environmental pollution review in the territory of activity of Federal State Budgetary Institution Severnoye UGMS for 2010], Arkhangelsk, 2011. 177 p.
6. *Obzor zagryazneniya okruzhayushchey sredy na territorii deyatel'nosti FGBU «Severnoe UGMS» za 2011 g.* [The environmental pollution review in the territory of activity of Federal State Budgetary Institution Severnoye UGMS for 2011], Arkhangelsk, 2012. 193 p.
7. Panovskiy G. A., Brayer G. V. *Statisticheskie metody v meteorologii* [Statistical methods in meteorology], Leningrad, State Hydrometeorological Publishing, 1972. 200 p.
8. Posokhov Ye. V. *Ionnyy sostav prirodnykh vod. Genezis i evolyutsiya* [Ionny composition of natural waters. Genesis and evolution], Leningrad, State Hydrometeorological Publishing, 1985. 254 p.
9. Mandycha A. F. (ed.) *Prirodnaya sreda evropeyskoy chasti SSSR. Opyt regional'nogo analiza* [Environment of the European part of the USSR. Experience of the regional analysis], Moscow, 1989. 229 p.
10. Rikhter G. D., Chikishev A. G. *Sever evropeyskoy chasti SSSR* [North of the European part of the USSR], Moscow, Thought, 1966. 236 p.
11. Savenko V. S. Prirodnye i antropogennyye istochniki zagryazneniya atmosfery [Natural and anthropogenic sources of air pollution]. *Seriya Okhrana prirody i vosproizvodstvo prirodnykh resursov* [Series Nature conservation and restoration of natural resources], Moscow, 1991, vol. 31. 209 p.
12. Kasimova N. S., Klige R. K. (ed.). *Sovremennyye globalnyye izmeneniya prirodnoy sredy* [Modern global changes of environment], Moscow, Scientific World, 2006. 696 p.
13. *Fizicheskaya geografiya SSSR* [Physical geography of the USSR], Moscow, Higher school, 1976, issue 2. 272 p.
14. Filenko R. A. *Gidrologicheskoe rayonirovanie severa Yevropeyskoy chasti SSSR* [Hydrological division into districts of the North of the European part of the USSR], Leningrad, Leningrad University Publishing, 1974. 223 p.
15. Chernobaev I. P. *Khimiya okruzhayushchey sredy* [Himiya of environment], Kiev, Higher school, 1990. 191 p.