

**КИСЛОТНО-ЩЕЛОЧНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОСАДКОВ
ПРИБРЕЖНОЙ ЗОНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ:
РЕТРОСПЕКТИВНЫЙ АНАЛИЗ**

О.П. Трубицина*

*Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Статья нацелена на выявление тенденций кислотности осадков прибрежной зоны Архангельской области, относящейся к сухопутной части Арктической зоны Российской Федерации (АЗРФ), интерес к промышленному освоению которой в последнее время возрос. Кислотно-щелочные особенности осадков выявлены за 12-летний период времени (1991–2002 годы) ежемесячно путем ретроспективного анализа, произведенного с помощью пакета прикладных программ статистической обработки данных «SPSS». Анализ основан на дедуктивном методе исследования архивных данных годовой и месячной отчетности Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Определены тенденции кислотности атмосферных осадков, вклад долей SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- в сумму анионов осадков, а также процент нейтрализации кислотных осадков на всех исследуемых станциях в теплый и холодный период. В результате анализа выявлена временная 12-летняя неоднородность кислотно-щелочных характеристик атмосферных осадков прибрежной зоны Архангельской области. Установлено, что около 1/3 проанализированных осадков на всех исследуемых станциях отражают тенденцию закисления. Сульфатные ионы занимают преобладающее положение в анионах осадков всех исследуемых станций. В подавляющем большинстве случаев (88 %) нейтрализации осадков не происходит, что указывает на недостаток в их составе кислотных нейтрализаторов. Чаще всего нейтрализация осадков происходит в теплый период времени. Результаты данного ретроспективного анализа должны учитываться при разработке и реализации промышленных проектов в Арктике и могут быть использованы для оценки степени токсичности кислотообразующих и эвтрофицирующих загрязнителей в различных средах (атмосфера, почва, вода, растения и грибы), определения порогового эффекта на стадии оценки воздействия в процессе анализа геоэкологических рисков, мониторинга биоты АЗРФ.

Ключевые слова: ретроспективный анализ кислотности осадков, геоэкологический риск, прибрежная зона Архангельской области, Арктическая зона РФ.

Контактное лицо: Трубицина Ольга Петровна, адрес: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17; e-mail: o.trubitsina@narfu.ru, test79@yandex.ru.

Для цитирования: Трубицина О.П. Кислотно-щелочные особенности осадков прибрежной зоны Архангельской области: ретроспективный анализ // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 4. С. 17–25. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.17.

Проблемы антропогенного воздействия на природу, связанные с ее загрязнением, характеризуются рядом аспектов, проявления и последствия которых особенно важно исследовать и предотвращать всеми странами мира. К их числу относится проблема кислотных атмосферных выпадений, которая возникла в 1970-х годах, на пике интеграции производства в Европе и Северной Америке. Ее опасность для человечества в полной мере была осознана лишь в начале 1980-х годов [1].

К настоящему времени установлено, что доминантными загрязняющими веществами сухопутной части АЗРФ¹, а именно станций прибрежной зоны Архангельской области, включая Ненецкий автономный округ (НАО), являются серные и азотные соединения, доля которых на фоне уменьшения общих объемов выбросов растет [1]. В связи с этим изучение тенденций кислотности осадков региона – актуальная экологическая задача, особенно с учетом того факта, что многомерные эффекты могут проявляться спустя длительное время после прекращения выпадения кислотных осадков [2].

Результаты ретроспективных обобщений могут быть использованы для оценивания степени токсичности кислотообразующих и эвтрофицирующих поллютантов в различных средах (атмосфера, почва, вода, растения, биота) на этапе оценки воздействия при анализе геоэкологических рисков (ГЭР). Это важно для понимания токсикологического воздействия поллютантов с точки зрения учета взаимосвязей между дозой, временем и эффектом. Например, возможны такие ситуации, когда изменения растительности при кислотном воздействии рельефно выражены, в то время как в почвах новых признаков еще не наблюдается из-за недостатка времени для их формирования [3]. В то же время кислотные осадки иллюстрируют пороговый эффект. Большинство почв, озер и рек содержат щелочные химические веще-

ства, которые могут нейтрализовать некоторое количество кислот. Однако регулярное многолетнее кислотное воздействие истощает большинство из этих нейтрализаторов, и наступает период необратимых реакций в природе. Это может произойти через 10–20 лет. С этой точки зрения, результаты обобщений могут быть чрезвычайно важны для идентификации необратимых процессов в природе сухопутной зоны АЗРФ. Окружающая среда данного региона чрезвычайно уязвима, что обусловлено своеобразием миграции и поступлением загрязняющих веществ в ее депонирующие среды. В холодных условиях Арктики целый ряд элементов окружающей среды (морской лед, донные осадки, мхи и лишайники, некоторые животные) обладают свойством накапливать загрязнения в течение многих лет. В результате антропогенная нагрузка на арктические экосистемы возрастает со временем [4].

Цель исследования – выявление тенденций кислотно-щелочных особенностей осадков прибрежной зоны Архангельской области. Задачи: сравнить частоту встречаемости pH на исследуемых станциях; определить вклад долей SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- в сумму анионов осадков; выявить степень нейтрализации осадков и частоту встречаемости процесса нейтрализации в теплый и холодный периоды времени.

Материалы и методы. Ретроспективный анализ проведен при помощи пакета прикладных программ статистической обработки данных «SPSS» с использованием методов параметрической статистики.

На основе дедуктивного метода исследования архивных данных годовой и месячной отчетности ФГБУ «Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» обобщили результаты измерений показателей химического состава атмосферных осадков следующих станций Архангельской области и НАО, относящихся к сухопутной территории АЗРФ: Архангельск (64°30' – 40°43'), Северодвинск

¹О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации: указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 // Собр. законодательства РФ. 2014. № 18 (ч. I), ст. 2136.

(64°33' – 39°45'), Мудьюг (64°51' – 40°16'), Онега (64°54' – 38°06'), Нарьян-Мар (67°37' – 53°01'); наблюдения проводились ежемесячно в течение 12 лет (1991–2002 годы). Обработали 14 974 данных. Среди них сгруппировали и проанализировали следующие показатели химического состава осадков: 1) концентрации ионов, входящих в таблицу заданного образца по форме ТХО-1 согласно РД 52.19.704–2013², мг/л: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ ; 2) сумму ионов, мг/л; 3) рН; 4) сумму осадков за месяц, мм. Рассчитали и проанализировали: суммы анионов, суммы катионов, отношения сумм анионов к суммам катионов, доли SO_4^{2-} , NO_3^- и Cl^- от суммы анионов.

При вычислении среднегодовых взвешенных рН в пробах атмосферных осадков учитывали, что величина $\text{pH} = -\lg [\text{H}^+]$, а следовательно, получить ее среднее простым арифметическим путем невозможно. Поэтому значения рН переводили в концентрации ионов водорода и затем использовали метод, принятый в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (Е.С. Селезневой³), который предполагает для каждого ингредиента учет количества выпавших осадков:

$$\bar{C} = \frac{\sum_{i=1}^n C_i \cdot q_i}{\sum_{i=1}^n q_i}, \quad (1)$$

где \bar{C} – средневзвешенная концентрация компонента (H^+) в осадках, мг/л; C_i – концентрация компонента в пробе, мг/л; q_i – количество осадков (за месяц), мм; n – число проб осадков (месяцев).

Для расчета нейтрализации закисленных осадков, нагрузок выпадений серы, экологической емкости использовали методику, разработанную сотрудниками Института глобального климата и экологии Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды и Российской академии наук

В.Н. Василенко, И.М. Назаровым, Ш.Д. Фридманом в 1992 году [5].

Согласно данной методике, нейтрализация закисленных осадков характеризуется коэффициентом δ , который равен доле действующих сильных кислот, а величина $(1 - \delta)$ – доле нейтрализованных сильных кислот в выпадениях:

$$\delta = 1 - \frac{\sum z_j [c_j^{z_j/+}]}{\sum z_i [c_i^{z_i/-}]} \quad \text{при } 0 < \Sigma^+ / \Sigma^- < 1; \\ \delta = 0 \quad \text{при } \Sigma^+ / \Sigma^- \geq 1, \quad (2)$$

где $[c_{j,i}]$ – молярные концентрации главных анионов и катионов; $z_{j,i}$ – их валентности.

При рН = 4,5–5,0 соотношение (2) выполняется с точностью до 15 %. Длительные наблюдения за составом атмосферных осадков показали, что достаточно учитывать лишь главные анионы и катионы: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

В данной статье реализован итоговый ретроспективный анализ данных за длительный период времени (месяц, год). Этот вид анализа может быть основой для оперативного ретроспективного вида, связанного с выявлением изменений экологической ситуации за короткий период времени (смену, сутки, декаду и т. д.) на базе индуктивного метода.

Результаты и обсуждение

Тенденции кислотности осадков. Прежде всего, необходимо отметить большую изменчивость и временную неоднородность кислотно-щелочных характеристик атмосферных осадков, регистрируемых на одной и той же станции в разные годы. Среди исследуемых станций не наблюдается таких, на которых бы постоянно регистрировались одинаковые кислотные, нейтральные или щелочные характеристики в представляемый период наблюдений. Поэтому необходимо было выявить тенденции кислотности осадков в целом по исследуемым станциям с помощью частот проявления тех или иных значений рН. Для этого были определены группы кислотно-щелочных характеристик осадков: 1) рН = 4,00–5,60 (тенденция

²РД 52.19.704–2013. Краткие схемы обработки гидрометеорологической информации. Обнинск, 2013. 88 с.

³Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1962–1965 гг. / под ред. Е.С. Селезневой. Л., 1970. 68 с.

закисления); 2) рН = 5,61–7,00 (фоновый уровень, слабокислые или нейтральные свойства); 3) рН = 7,01–8,50 (нейтральные и слабощелочные свойства). Все данные были преобразованы путем перекодирования их в другие переменные согласно группам по рН: «1», «2» и «3» соответственно. Для статистического доказательства вывода использован критерий хи-квадрат Пирсона (χ^2).

При сравнении частоты встречаемости рН по трем группам кислотно-щелочных характеристик осадков на исследуемых станциях выявлены статистически значимые различия. Статистика критерия хи-квадрат составляет 310,524 при минимальной ожидаемой частоте 236,7, степень свободы – 2, асимптотическое значение критерия $p < 0,05$.

При попарном биномиальном сравнении отобраны наблюдения для 1-й и 2-й групп согласно условию $\text{pH} \geq 4.3 \ \& \ \text{pH} \leq 7.0$; для 1-й и 3-й групп – $\text{pH} \geq 4.3 \ \& \ \text{pH} \leq 5.60 \mid \text{pH} \geq 7.01 \ \& \ \text{pH} \leq 7.65$; для 2-й и 3-й групп – $\text{pH} \geq 5.61 \ \& \ \text{pH} \leq 7.00 \mid \text{pH} \geq 7.01 \ \& \ \text{pH} \leq 7.65$ (табл. 1). Выявлено, что кислотно-щелочные показатели

осадков 1-й, 2-й и 3-й групп статистически значимо отличаются.

Для выявления распределения значений рН осадков всех исследуемых станций по трем выделенным группам была построена частотная таблица, установлены значения процентилей для трех групп. В результате установлено (рис. 1),

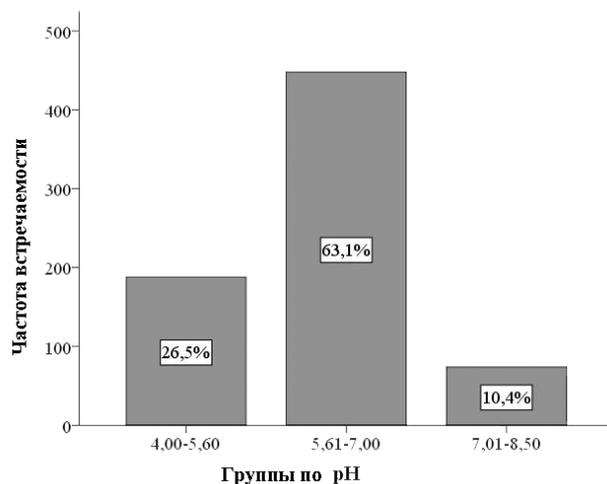


Рис. 1. Распределение значений рН на исследуемых станциях

Таблица 1

**БИНОМИАЛЬНОЕ СРАВНЕНИЕ
ГРУПП рН ОСАДКОВ
ИССЛЕДУЕМЫХ СТАНЦИЙ**

№ группы	рН	Число наблюдений	Доля
1	4,00–5,60	188	0,29
2	5,61–7,00	448	0,71
Итого	–	636	1,00
1	4,00–5,60	188	0,72
3	7,01–8,50	74	0,28
Итого	–	262	1,00
2	5,61–7,00	448	0,86
3	7,01–8,50	74	0,14
Итого	–	522	1,00

Примечание. Точная асимптотика значений (2-сторонняя) для всех вариантов 0,000.

что около 1/3 проанализированных осадков на всех исследуемых станциях отражают тенденцию закисления, больше 1/2 демонстрируют фоновый уровень и только 10 % проявляют нейтральные и слабощелочные свойства.

Для определения кислотно-щелочных характеристик осадков отдельных станций файл был расщеплен по признаку «станция». Согласно результатам графики «SPSS» была составлена таблица, отражающая процентную частоту встречаемости значений рН осадков отдельных станций в трех группах рН. С помощью построения таблиц сопряженности переменных «станция» и «рН» определены абсолютные значения (табл. 2).

Расчет критерия хи-квадрат статистически значимо показал ($p < 0,05$), что существуют различия между распределениями значений рН по трем группам на каждой из исследуемых станций. Оче-

Таблица 2

**СРАВНЕНИЕ ЧАСТОТЫ ВСТРЕЧАЕМОСТИ pH ОСАДКОВ
ОТДЕЛЬНЫХ СТАНЦИЙ**

Станция	Группы по pH			Итого
	4,00–5,60	5,61–7,00	7,01–8,50	
Архангельск	65 (46)	69 (48)	8 (6)	142
Северодвинск	35 (25)	99 (70)	7 (5)	141
Мудьюг	37 (26)	95 (66)	12 (8)	144
Онега	30 (21)	65 (47)	44 (32)	139
Нарьян-Мар	21 (15)	120 (83)	3 (2)	144
Всего	188	448	74	710

Примечание. В таблице приведены абсолютные значения, в скобках – процентные значения.

видно (табл. 2), что преобладающая тенденция закисления атмосферных осадков в наибольшей степени характерна для г. Архангельска. Фоновый уровень чаще встречается в г. Нарьян-Маре, г. Северодвинске, на о-ве Мудьюг; нейтральные и слабощелочные осадки – в г. Онеге.

Вклад долей SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- в сумму анионов осадков. Для определения обусловленности

проявления значений pH < 5,6 в атмосферных осадках концентрациями кислотообразующих сульфатов, нитратов и хлора были рассчитаны доли каждого иона в сумме анионов (%) и определены меры центральной тенденции, характеризующие выборку по уровню выраженности рассчитанных долей ионов (рис. 2). Число валидных значений каждой станции 144.

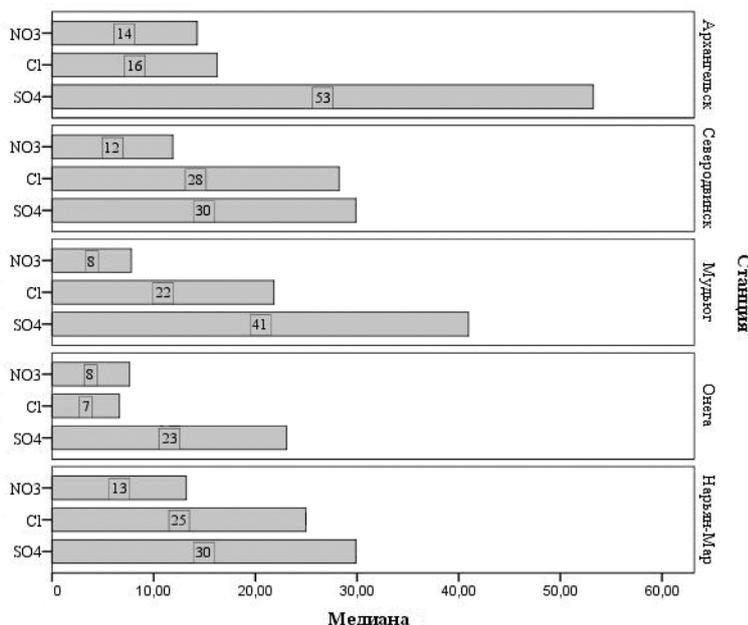


Рис. 2. Медианы долей SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- в сумме анионов осадков на исследуемых станциях

В г. Архангельске более чем в 1/2 случаев кислотность осадков определяется SO_4^{2-} . Вклад данного иона в общую сумму анионов является доминантным на всех станциях. Наряду с этим в г. Северодвинске распределение SO_4^{2-} и Cl^- одинаково – около 1/3. Незначительный вклад в анионы осадков вносит NO_3^- практически на всех станциях, наименьшая медиана его частоты встречаемости (8 %) отмечается на о-ве Мудьюг и в г. Онеге.

Нейтрализация кислотных осадков. По результатам анализа ионного баланса в осадках исследуемых станций сухопутной зоны АЗРФ были получены количественные характеристики нейтрализации кислотных свойств атмосферных выпадений. Основным критерием этого процесса принято отношение суммы молярных концентраций катионов к сумме молярных концентраций анионов (Σ^+/Σ^-), которое характеризует потенциальные возможности нейтрализации сильных кислот при значениях больше 1. При этом учитывались главные катионы и анионы, участвующие в этом процессе: SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , NH_4^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ [5].

Для выявления степени нейтрализации осадков на всех исследуемых станциях данные были ранжированы на две группы, соответствующие условиям: 1) $\Sigma^+/\Sigma^- < 1$ (нет нейтрализации); 2) $\Sigma^+/\Sigma^- > 1$ (есть нейтрализация). Биномиально определены статистически значимые различия между значениями Σ^+/Σ^- , соответствующими 1-й и 2-й группам ($p < 0,05$).

Установлено, что в подавляющем большинстве случаев (88 %) нейтрализации осадков не происходит. Это значит, что в составе выпадающих осадков недостаточно кислотных нейтрализаторов. В 12 % случаев происходит нейтрализация осадков. Для определения особенностей данного процесса по отдельным станциям были отобраны наблюдения, соответствующие группе осадков, в которых происходит нейтрализация (2-я группа). В описательную статистику были введены переменные: станция, год, месяц, нейтрализация. В результате анализа данных отмечено, что в г. Архангельске не было зафиксировано ни одного слу-

чая нейтрализации, в то же время наибольшая частотность данного явления характерна для г. Онеги (45 %). На о-ве Мудьюг, в г. Северодвинске и г. Нарьян-Маре частота встречаемости составляет 3, 5 и 8 % соответственно.

С целью определения частоты встречаемости нейтрализации в разные периоды года данные ранжированы на две группы: теплый период (4–10-й месяцы) и холодный период (1–3-й, 11-й, 12-й месяцы). С помощью критерия хи-квадрат установлены статистически значимые различия между данными группами ($p < 0,05$). Таким образом, выявлено, что в основном осадки (более чем в 50 % случаев) нейтрализуются в теплый период времени (рис. 3).

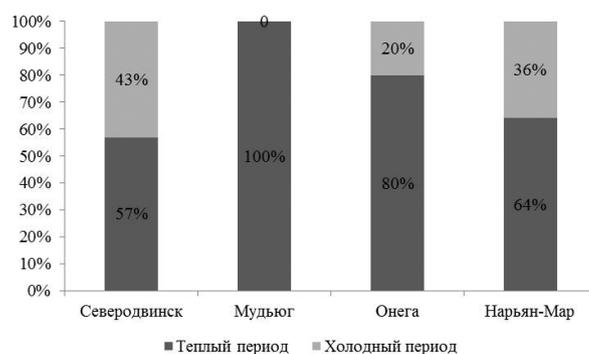


Рис. 3. Распределение частот встречаемости процесса нейтрализации осадков в холодный и теплый период

Закключение. В результате ретроспективного анализа выявлена временная 12-летняя неоднородность кислотно-щелочных характеристик атмосферных осадков прибрежной зоны Архангельской области. Установлено, что около 1/3 проанализированных осадков на всех исследуемых станциях отражают тенденцию закисления, в наибольшей степени в г. Архангельске. Более 1/2 атмосферных выпадений (63 %) демонстрируют фоновый уровень (чаще всего в г. Нарьян-Маре, г. Северодвинске, на о-ве Мудьюг) и только 10 % проявляют нейтральные и слабощелочные свойства (чаще всего в г. Онеге). При этом важно учесть тот

факт, что кислотность осадков в момент их выпадения часто выше кислотности, измеренной после некоторого хранения⁴.

Исследуемые станции относятся к приморским ландшафтным областям: г. Северодвинск расположен на побережье Белого моря, г. Архангельск и о-в Мудьюг – в Двинской губе Белого моря, г. Онега – в Онежской губе Белого моря, г. Нарьян-Мар – на побережье Баренцева моря. Здесь наиболее характерными природными индикаторами являются хлориды и рН осадков (влияние морских аэрозолей), экономическими индикаторами – сульфаты и хлориды (рН пригоден как индикатор в отдельных случаях). Сульфатные ионы занимают преобладающее положение в анионах осадков всех исследуемых станций. В г. Архангельске медиана их доли за 12 лет составляет 53 %, на о-ве Мудьюг – 41 %. Наряду с этим в г. Северодвинске распределение SO_4^{2-} и Cl^- примерно одинаково и вместе составляет 58 %. Незначительный вклад в анионы осадков вносит NO_3^- практически на всех станциях, наименьшая медиана его частоты встречаемости (8 %) отмечается на о-ве Мудьюг и в г. Онеге. Наименьшие медианы долей сульфатов, хлора и нитрата (вместе составляют 38 %) характерны для г. Онеги. В то же время выявлено, что 21 % онежских осадков являются закисленными наряду с преобладанием фонового уровня (47 %) и щелочного (32 %). Это объясняется тем, что в г. Онеге выпадает гидрокарбонатный тип осадков в связи с переносом терригенного материала с территории Мурманской области⁵.

Таким образом, преобладающими ионами в анионах осадков исследуемых станций рассматриваемого периода являются сульфатные. Отличительной особенностью всех станций с

преобладанием сульфатов следует считать сосредоточение на них наиболее кислых осадков проб, что косвенно указывает на известную роль соединений серы в формировании их кислотности⁶.

В подавляющем большинстве случаев (88 %) нейтрализации осадков не происходит, что указывает на недостаток в их составе кислотных нейтрализаторов. В г. Архангельске не было зафиксировано ни одного случая нейтрализации, в то время как наибольшая частотность данного явления характерна для г. Онеги (45 %). На о-ве Мудьюг, в г. Северодвинске и г. Нарьян-Маре частота встречаемости составляет 3, 5 и 8 % соответственно. Выявлено, что в основном осадки нейтрализуются в теплый период времени. Однако следует учитывать, что при весеннем таянии снегов не оттаявшая земля не впитывает влагу и поэтому не может выполнять функцию буфера кислых вод. Кислые талые воды свободно скатываются в ручьи и реки, что может привести к массовой гибели водной биоты. Многие виды рыб проявляют достаточно высокую устойчивость к низким значениям рН, но погибают при быстрых изменениях кислотности [6].

Выявленные закономерности кислотности осадков прибрежной зоны Архангельской области за рассматриваемый период могут помочь идентифицировать необратимые процессы в природе исследуемой территории в настоящее время, тем самым сократить число источников неопределенности и повысить достоверность информации при оценке ГЭР [7], а следовательно, повлиять на принятие эффективного управленческого решения для проектов в АЗРФ.

⁴Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1981–1985 гг. / Гл. геофиз. обсерватория им. А.И. Воейкова. Л., 1989. 196 с.

⁵Обзор загрязнения окружающей среды на территории деятельности ФГБУ «Северное УГМС» за 2014 год. Архангельск, 2015. 222 с.

⁶Ежемесячные данные по химическому составу атмосферных осадков за 1981–1985 гг. Л., 1989. 196 с.

Список литературы

1. Trubitsina O. Ecological Monitoring of Acid Deposition in the Arctic Region // *The Open Ecology Journal*. 2015. Vol. 8. P. 21–31.
2. Израэль Ю.А. Кислотные дожди. М., 1983. 206 с.
3. Башкин В.Н. Биогеохимия полярных экосистем в зонах влияния газовой промышленности. М., 2014. 302 с.
4. Виноградова А.А. Антропогенный аэрозоль над морями Северного Ледовитого океана: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2004. 40 с.
5. Василенко В.Н., Дликман И.Ф., Назаров И.М., Фридман Ш.Д. Нейтрализация кислотных осадков в Северном полушарии // *Метеорология и гидрология*. 1993. № 8. С. 8–14.
6. Бримблкомб П. Состав и химия атмосферы / пер. с англ. А.Г. Рябошапко. М., 1988. 351 с.
7. Башкин В.Н., Трубицина О.П., Припутина И.В. Оценка геоэкологических рисков в зонах влияния нефтяной и газовой промышленности в Российской Арктике // *Арктика и Север*. 2015. № 20. С. 92–97.

References

1. Trubitsina O. Ecological Monitoring of Acid Deposition in the Arctic Region. *The Open Ecology Journal*, 2015, vol. 8, pp. 21–31.
2. Izrael' Yu.A. *Kislotnye dozhdi* [Acid-Rains]. Moscow, 1983. 206 p.
3. Bashkin V.N. *Biogeokhimiya polyarnykh ekosistem v zonakh vliyaniya gazovoy promyshlennosti* [Biogeochemistry of the Polar Ecosystems in the Areas Affected by the Gas Industry]. Moscow, 2014. 302 p.
4. Vinogradova A.A. *Antropogennyy aerazol' nad moryami Severnogo Ledovitogo okeana: avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk* [Anthropogene Aerosol over the Seas of the Arctic Ocean: Dr. Geogr. Sci. Diss. Abs.]. Moscow, 2004. 40 p.
5. Vasilenko V.N., Dlikman I.F., Nazarov I.M., Fridman Sh.D. Neytralizatsiya kislotnykh osadkov v Severnom polusharii [Neutralization of the Acidic Precipitation in the Northern Hemisphere]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 1993, no. 8, pp. 8–14.
6. Brimblecombe P. *Air: Composition and Chemistry*. UK, Cambridge, 1986. 240 p.
7. Bashkin V.N., Trubitsina O.P., Pripulina I.V. Otsenka geoekologicheskikh riskov v zonakh vliyaniya neftyanoy i gazovoy promyshlennosti v Rossiyskoy Arktike [Assessment of Geo-Ecological Risks in the Areas Affected by the Oil and Gas Industry in the Russian Arctic]. *Arktika i Sever* [Arctic and North], 2015, no. 20, pp. 92–97.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.17

Ol'ga P. Trubitsina*

*Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov
(Arkhangelsk, Russian Federation)

ACID-BASE CHARACTERISTICS OF PRECIPITATION IN THE COASTAL AREAS OF THE ARKHANGELSK REGION: A HINDSIGHT STUDY

The article focuses on the acid precipitation trends in the coastal zone of the Arkhangelsk region. This is especially important from the point of view of the fact that the studied area refers to the land part of the Arctic zone of the Russian Federation (AZRF), interest in the industrial development of which in recent years has increased. Acid-base precipitation features were identified during the 12-year period (from 1991 to 2002) by the hindsight study. It was performed using the software applications package of the statistical processing SPSS. The analysis is based on the deductive method of research of archival data of the annual and monthly reporting of the Northern Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. The author identified the tendencies of the acidity of atmospheric precipitation,

the contribution of shares of SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- in the amount of precipitation anions and the percentage of neutralization of acidic precipitation in all investigated stations in warm and cold periods. The analysis identified 12-year temporal heterogeneity of the acid-alkaline characteristics of precipitation of the coastal areas of the Arkhangelsk region. About 1\3 analyzed precipitation in all investigated stations reflect the tendency of acidification. Sulfate ions occupy the prevailing situation in the precipitation anions of all test stations. In most cases (88 %) neutralization of precipitation does not occur, which indicates the acid neutralizers deficiency in their composition. Neutralization of precipitation more frequently occurs during the warm period. The article content provides the valuable information, which should be considered in the development and implementation of industrial projects in the Arctic region. It should be used for estimating the degree of toxicity of acid-forming and eutrophying pollutants in different media (air, soil, water, plants, and fungi), determining the threshold effect at the stage of the impact assessment in the analysis of geo-ecological risks (GER), developing biota monitoring in the AZRF.

Keywords: *hindsight study of acid precipitation, geoecological risk, coastal area of the Arkhangelsk region, Arctic zone of the Russian Federation.*

Received on April 28, 2016

Поступила 28.04.2016

Corresponding author: Ol'ga Trubitsina, *address:* Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; *e-mail:* o.trubitsina@narfu.ru, test79@yandex.ru.

For citation: Trubitsina O.P. Acid-Base Characteristics of Precipitation in the Coastal Areas of the Arkhangelsk Region: a Hindsight Study. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2016, no. 4, pp. 17–25. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.4.17.