

Кислотно-щелочные особенности осадков прибрежной зоны юга Приморского края

С. Г. Юрченко ✉

Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Российская Федерация
(690041, г. Владивосток, ул. Радио, 7)

Аннотация. Цель данной работы – охарактеризовать особенности ионного состава атмосферных осадков прибрежной зоны, а также выявить различные составляющие в общем уровне солесодержания.

Материалы и методы. Стационарный пункт отбора проб атмосферных осадков расположен на северо-западном побережье полуострова Муравьев-Амурский (город Владивосток). В работе приводится анализ данных, собранных в 2017 году в теплый период. Анализируется кислотность, ионный состав и минерализация жидких осадков.

Результаты и выводы. Автором определены сезонные тенденции кислотности осадков. Рассчитан вклад долей кислотообразующих ионов в сумму анионов осадков. Показано, что на фоне снижения сульфатов, по сравнению с предыдущими годами, растут концентрации нитратов и гидрокарбонатов. Выявлено, что на соотношение основных ионов оказывает влияние траектория переноса воздушных масс.

Ключевые слова: атмосферные осадки, дожди, кислотность, Владивосток, химический состав.

Для цитирования: Юрченко С. Г. Кислотно-щелочные особенности осадков прибрежной зоны юга Приморского края // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 4, с. 134-139. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/134-139>

ВВЕДЕНИЕ

Считается, что дождевая вода является одним из самых чистых источников воды. В районах, где мало поверхностных вод и подземные воды труднодоступны, в качестве источника водоснабжения используются осадки в виде снега, дождя и льда. В г. Владивостоке, до недавнего времени, водоснабжение осуществлялось только поверхностными водами из водохранилищ, которые наполнялись за счет атмосферных осадков. Во Владивостоке за загрязнением атмосферы наблюдают системы экологического мониторинга Приморгидромета. Они фиксируют выбросы вредных веществ в атмосферу, как от предприятий, так и от автотранспорта. Этими выбросами могут быть существенно загрязнены и дождевые воды. Однако, качество дождевой воды зависит не только от уровня загрязненности атмосферного воздуха в регионе, но и от метеорологических факторов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Полуостров Муравьев-Амурский является самым крупным в Приморском крае. Именно на нем расположена материковая часть г. Владивостока. В связи с этим, территория полуострова полностью застроена и освоена хозяйственной деятельностью человека: жилыми домами, предприятиями, постройками разного назначения, домами отдыха, дорогами. Климат Владивостока

умеренно муссонный. Основным осадкообразующим фактором во Владивостоке является циклоническая и фронтальная деятельность, а также атмосферная циркуляция воздушных масс с высоким влагосодержанием¹. В основу работы положены данные 26 проб, собранных в 2017 году с апреля по ноябрь. Этот год, за последние 9 лет, стал одним из сухих. Годовая сумма осадков составила 693 мм (данные с сайта rp5.ru). Максимальное количество осадков выпало в теплый период (май-октябрь) и составило для каждого месяца не менее 10 % от годовой суммы. Для сбора жидких осадков использовали стационарный автоматический осадкосборник, который установлен в 601 м от побережья Амурского залива, на высоте 30 м над у.м. Пробу снимали после окончания выпадения осадков. Это приводило к тому, что осадки, которые выпадали в течение нескольких суток, попадали в одну емкость. Анализ химического состава был выполнен в ЦКП ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН. Сразу после отбора в пробах измерен pH, электропроводность, щелочность и проведена фильтрация через мембранный фильтр с диаметром пор 0,45 мкм. Состав нерастворимой фракции автором не рассматривается. В работе использовали следующие методы: ионная хроматография (Cl^- , NO_3^- , SO_4^{2-}), атомная абсорбционная спектрофотометрия (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}), потенциометрическое титрование (HCO_3^-).

© Юрченко С. Г., 2024

✉ Светлана Григорьевна Юрченко, e-mail: rezech@yandex.ru

¹ Особенности климата Владивостока. – URL: http://www.primgidromet.ru/news/osobennosti_klimata_vladivostoka (дата обращения 20.05.2022) – Текст: электронный.

² Погода во Владивостоке. Расписание погоды. – URL: http://rp5.ru/Архив_погоды_во_Владивостоке (дата обращения: 15.05.2022) – Текст: электронный.



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе наблюдений фиксировали интенсивность осадков (мм), от которых зависит уровень загрязненности дождевой воды (для полного анализа мы использовали дожди интенсивностью более 2 мм). По данным корреляционного анализа, в большинстве случаев, между количеством осадков и концентрациями веществ прослеживается обратная связь от незначительной до средней степени. Среднее значение кислотности осадков за период исследования составило $5,1 \pm 0,5$ pH, что

на 5 % выше по сравнению с кислотностью осадков г. Москва [3] и на 10 % ниже по сравнению с осадками Тверской области [1]. Значение этой характеристики изменяется в широких пределах: от 4,3 pH (ноябрь) до 6,3 pH (апрель). Необходимо отметить, что с 2014 по 2016 год [17, 18] 52 % значений pH не выходили за пределы 4,5-5,0, а в исследуемом году в большинстве случаев отмечались значения, находящиеся в интервале 5,0-5,5 единиц pH (рис. 1), что соответствует атмосферным осадкам других прибрежных регионов [11, 13, 14].

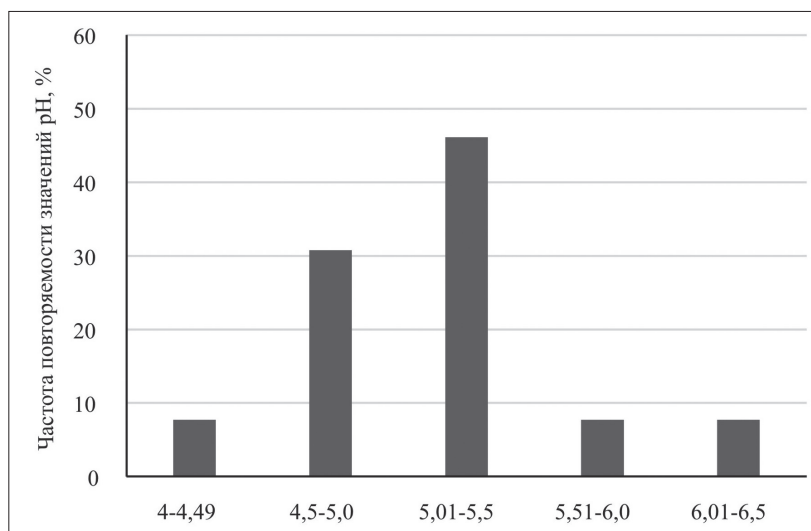


Рис. 1. Повторяемость величин pH в дождевых пробах
[Fig. 1. Repeatability of pH values in rain samples]

Таким образом, по сравнению с 2012 [9], 2014-2016 годами, среднегодовое значение pH осадков в 2017 году возросло на 0,6 единиц, а число кислых проб сократилось примерно в 1,8 раза. Похожая тенденция была отмечена в работах [13] по территории Северо-Западного федерального округа.

На рисунке 2 представлено весенне-осеннее распределение pH осадков, которое характеризуется закислением осадков к концу периода отбора. Возможно,

как предполагают в некоторых работах [10, 12], это связано с влиянием газовых компонентов. На исследуемой территории отопительный сезон начинается в середине октября и как следствие – при сжигании твердого топлива в атмосферу поступают, наряду с основными продуктами сгорания, кислотообразующие вещества [2]. В результате смешения осадков с этими веществами мы наблюдаем уменьшение pH и появление «кислотных» дождей.

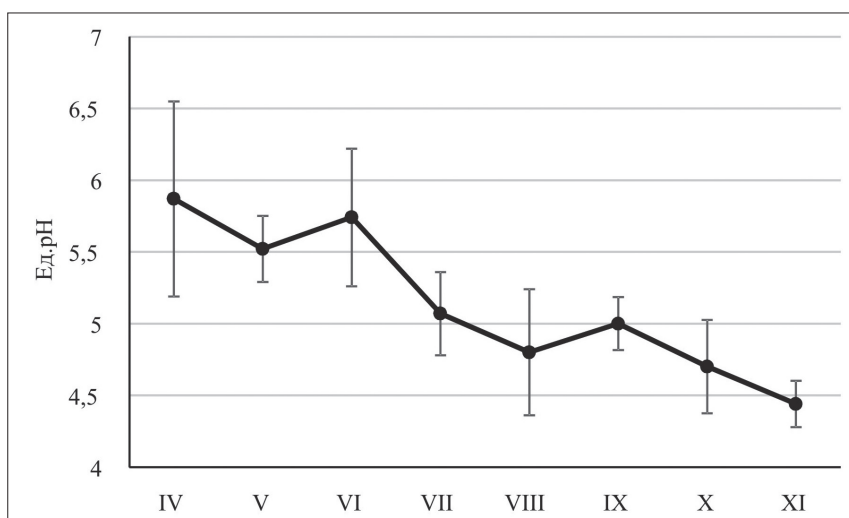


Рис. 2. Внутригодовой ход pH осадков
[Fig. 2. Annual course of precipitation pH]

Всего, с апреля по ноябрь 2017 года 38% выпадающих осадков имели $\text{pH} < 5$ (см. рис. 1), т.е. их можно отнести к классу кислотных осадков. Это на 20% меньше, по сравнению с другими районами Приморского края [15]. Около 11% дождей были очень кислыми ($\text{pH} < 4,5$). Дождей с $\text{pH} < 4$ не наблюдали.

Для определения обусловленности проявления кислых дождей на территории г. Владивостока, были

рассчитаны доли каждого иона в сумме анионов (%) (рис. 3).

Анализируя динамику среднегодовых концентраций ионов за рассматриваемый период (см. рис. 3), следует отметить, что значительный вклад в подкисление дождевых вод вносят SO_4^{2-} и NO_3^- . Их доля в составе анионов изменяется в диапазоне 9-50 % и 14-68 % соответственно.

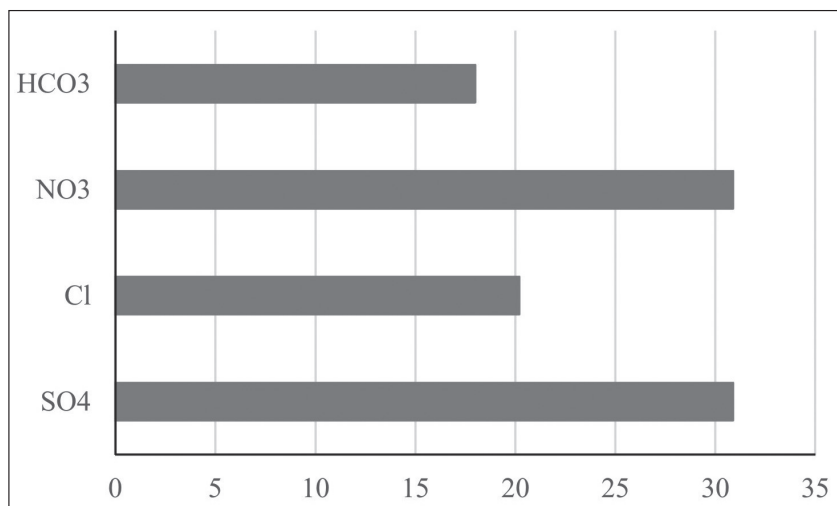


Рис. 3. Медианы долей (%) SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- в суммарном содержании анионов осадков.

[Fig. 3. The medians of the fractions (%) of SO_4^{2-} , NO_3^- , Cl^- , HCO_3^- in the total content of precipitation anions.]

Среднегодовое содержание сульфатов, которые, по мнению некоторых исследователей [2], являются основным загрязнителем атмосферы Приморского края, не превышает 3 мг/л. Несмотря на широкий годовой диапазон колебаний значений (от 0,4 до 13 мг/л), 42 % этих концентраций укладываются в предел 1,1-2,2 мг/л. Эти значения соответствуют среднегодовым концентрациям сульфатов в осадках, отобранных на территории Приморского края вне зоны влияния промышленных предприятий [2, 5]. Значительные концентрации сульфатов в атмосферных осадках, превышающие средние значения в 2-3 раза, отмечаются в единичных продолжительных дождях весной и начале лета. Учитывая, что станция отбора находится всего в 600 м от морского побережья, то было выдвинуто предположение, что источниками обогащения атмосферных осадков сульфат-ионами, кроме промышленных объектов, могут быть и морские аэрозоли. Оценив, путем расчетов, количество сульфатов морского происхождения, можно однозначно сказать, что 95-98 % сульфатов, выпадающих с дождем на исследуемую территорию, поступают в атмосферу с антропогенными выбросами, а также в результате выветривания горных пород.

Концентрация нитратов в более 50 % образцов дождевых вод не превышает величину 0,5 мгN/л. Среднее значение за исследуемый период составило 0,66 мгN/л, что в 2 раза больше по сравнению с его содержанием в атмосферных осадках на территории Сихотэ-Алинского заповедника [2]. Мы не наблюдаем значимого изменения содержания нитратов в дождях на территории

г. Владивостока в 2017 году по сравнению с предыдущими исследованиями на юге Приморского края [17, 18]. Значительные концентрации нитратов, превышающие среднее значение в 2-3 раза, найдены в 15 % отобранных образцов. Судя по корреляции ($R^2=0,85$), нитрат имеет с сульфатом сходный источник поступления в осадки. Некоторые исследования [7] связывают этот источник с дальним переносом загрязняющих веществ.

Доля HCO_3^- в составе анионов составила в 2017 году 18 %. Однако, необходимо отметить, что несмотря на то, что содержание HCO_3^- с 2014 года возросло на 21 %, около 20 % отобранных образцов не содержат гидрокарбонаты и это почти в 5 раз ниже, по сравнению с осадками на других территориях [12].

Среднее значение концентрации хлоридов за период исследования составляет 1,7 мг/л. Несмотря на широкий диапазон полученных данных (0,2-8,9 мг/л), более 50 % значений укладываются в предел 1-3 мг/л. Максимальная концентрация, превышающая среднее значение в 5 раз, найдена в единичной весенней пробе дождя. Установлено, что преобладание хлоридов над сульфатами наблюдали как при южных ветрах с моря, приносящих соль, так и при северных континентальных. Согласно исследованиям [7, 8], траектория циклонов, поступающих на территорию Приморского края с континентальной части Азии, лежит через акваторию Желтого и Японского морей, где и происходит обогащение воздушных масс морскими аэрозолями. Вследствие влияния морских аэрозолей коэффициент корреляции между хлором и натрием в эти отборы определяется очень высоким ($R^2=0,91$).

Анализ химического состава атмосферных осадков на территории г. Владивостока показал, что содержание катионов распределяется следующим образом: $\text{Ca} \geq \text{Na} > \text{Mg} > \text{K}$. Как можно видеть, содержание кальция (40,3 %) и натрия (40,1 %) в солевой массе дождевых вод примерно одинаковое. Как было сказано выше, присутствие натрия в катионном составе связано с обогащением воздушных масс морскими аэрозолями. А воздушные массы, поступающие с суши, приводят к увеличению не только ионов кальция, но и гидрокарбонатов. Коэффициент корреляции между гидрокарбонатами и кальцием определяется от незначительного (при южных ветрах) до высокого (при северных ветрах). Как следует из работ [6, 4], преобладание кальция в жидких осадках отмечается в крупных городах с запыленной атмосферой. Средняя концентрация магния составляет 0,19 мг/л. Значительное содержание магния, превышающее среднюю концентрацию в 4 раза, найдена в единичной пробе в весенний период. Учитывая, что в этой пробе также отмечается значительная концентрация хлора, мы рассчитали коэффициент корреляции между этими ионами и обнаружили значимую связь ($R^2 = 0,8$), что указывает на сходный источник поступления указанных ионов.

Максимальные значения суммы ионов наблюдаются в период весна – начало лета. На конец лета-осень в Приморье приходится наибольшая повторяемость сильных дождей, что приводит к промыванию атмосферы и, как следствие, снижению этого показателя в 2 раза. В основном, сумма ионов не превышает 10 мг/л, хотя годовой диапазон изменения очень широк: от 1,8 мг/л до 28,6 мг/л. В целом, годовое изменение суммы ионов в жидких осадках в районе отбора согласуется с более ранними данными по дождям южного Приморья [9, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате наших исследований выявлено, что на территории г. Владивостока выпадают мягкие, маломинерализованные осадки, которые, в основном, имеют кислый и слабокислый характер. Сезонное закисление осадков связано с результатом деятельности человека, сопровождающейся поступлением в атмосферу большого количества закисляющих веществ. В балансе кислых атмосферных осадков значительная роль, наравне с сульфат-ионом, принадлежит нитрат-иону. Достоверная корреляционная связь между концентрациями этих ионов характеризует сходный источник их поступления в осадки. Обогащение атмосферы определенными ионами основного состава на исследуемой территории зависит от ветрового выноса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Водородный показатель атмосферных осадков как критерий оценки экологической ситуации в Твери и Тверской области / Г.Е. Бородина, Н.П. Лопина, Е.Г. Некрасова и др. // *Верхневолжский медицинский журнал*, 2017, т.16, вып. 2, с. 40-43.
2. 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.
3. Еремина И. Д. Химический состав атмосферных осадков в Москве и тенденции его многолетних изменений // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2019, № 3, с. 3-10.
4. Зверев В. П., Варванина О. Ю. Антропогенные изменения химического состава атмосферных осадков Европейской России и их влияние на подземные воды // *Геоэкология*, 2000, № 3, с. 216-223.
5. Ионный состав генетических типов вод малого речного бассейна: стационарные исследования в центральном Сихотэ-Алине / А. Г. Болдескул, В. В. Шамов, Б. И. Гарцман, Н. К. Кожевникова // *Тихоокеанская геология*, 2014, т. 33, № 2, с. 90-101.
6. Кондратьев И. И. *Фоновые потоки аэрального вещества юга Дальнего Востока России, как региональная основа оценки загрязнения атмосферы*: автореф. дисс. ... кандидата геогр. наук. Владивосток, 2000. 25 с.
7. Кондратьев И. И. Трансграничный фактор в изменчивости химического состава осадков на юге Дальнего Востока России // *География и природные ресурсы*, 2009, № 3, с. 31-37.
8. Муха Д. Э., Кондратьев И. И., Мезенцева Л. И. Трансграничный перенос кислотных осадков циклонами Восточной Азии на юг Дальнего Востока России // *География и природные ресурсы*, 2012, № 2, с. 21-26.
9. О химическом составе атмосферных осадков и снежного покрова в Приморском крае / И. И. Кондратьев, Д. Э. Муха, А. Г. Болдескул и др. // *Метеорология и гидрология*, 2017, № 1, с. 91-100.
10. Прожорина Т. И., Нефедова Е. Г. Исследование метеорологических и химических параметров атмосферных осадков в осенне-зимний период как индикатора загрязнения воздуха г. Воронежа // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2013, № 1, с. 145-149.
11. Свистов П. Ф., Першина Н. А., Павлова М. Т. Атмосферные осадки: химический состав и кислотность // *Природа*, 2015, № 6, с. 28-36.
12. Свистов П. Ф., Полищук А. И., Першина Н. А. Качественная оценка загрязнения окружающей среды (по данным о химическом составе атмосферных осадков) // *Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Войкова*, 2010, № 562, с. 76-94.
13. Семенец Е. С., Павлова М. Т. Кислотность атмосферных осадков, выпадающих на территории Северо-Западного федерального округа // *Труды главной геофизической обсерватории им. А. И. Войкова*, 2019, № 593, с. 99-115.
14. Суркова Г. В., Еремина И. Д., Зорина С. А. Влияние континентальных и морских источников на химический состав летних атмосферных осадков северо-восточного побережья Черного моря // *Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа*, 2005, № 12, с. 208-214.
15. Формирование кислотности дождевых вод в залесенном бассейне Сихотэ-Алинской горной области // Н. К. Кожевникова, А. Г. Болдескул, Т. Н. Луценко и др. // *Геохимия*, т. 67, № 12, с. 1297-1311.
16. Чудаева В. А., Чудаев О. В., Юрченко С. Г. Особенности химического состава атмосферных осадков на юге Дальнего Востока // *Водные ресурсы*, 2008, т. 35, № 1, с. 60-71.
17. Юрченко С. Г., Богданова Н. Н. Особенности формирования химического состава атмосферных выпадений в районе города Владивосток // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2017, № 4, с. 83-86.

18. Юрченко С.Г. Химический состав дождевых вод побережья северо-западной части залива Петра Великого (юг Приморья) // *Вода: химия и экология*, 2019, №3-6, с. 143-147.

Конфликт интересов: Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 03.12.2023

Принята к публикации: 02.12.2024

UDC 551.577.5(571.63)

ISSN 1609-0683

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/134-139>

Acid-Alkaline Peculiarities of Precipitation of the Coastal Zone in the South of Primorsky Region

S. G. Yurchenko ✉

*Pacific Geographical Institute, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation
(690041, Russia, Vladivostok, Radio str., 7)*

Abstract. The purpose of this work is to characterise the peculiarities of the ionic composition of coastal precipitation and to identify the various components in the overall salt content.

Materials and methods. The stationary atmospheric precipitation sampling point is located on the north-western coast of the Muravyov-Amursky Peninsula (Vladivostok city). The article analyses the data collected in 2017 during the warm period. The acidity, ionic composition and mineralisation of precipitation are analysed.

Results and conclusions. The author determined seasonal trends of precipitation acidity. The contribution of acid-forming ions to the sum of precipitation anions was calculated. It is shown that nitrate and hydrocarbonate concentrations increase against the background of sulphate decrease as compared to previous years. It is revealed that the ratio of the basic ions is influenced by the trajectory of air mass transport.

Key words: precipitation, rainfall, acidity, Vladivostok, chemical composition.

For citation: Yurchenko S. G. Acid-Alkaline Peculiarities of Precipitation of the Coastal Zone in the South of Primorsky Region. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2024, no. 4, p. 134-139 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/4/134-139>

REFERENCES

1. Vodorodnyj pokazatel' atmosferynyh osadkov kak kriterij ocenki ekologicheskoy situacii v Tveri i Tverskoj oblasti [The hydrogen index of atmospheric precipitation as a criterion for assessing the environmental situation in Tver and the Tver region] / G. E. Borodina, N. P. Lopina, E. G. Nekrasova i dr. *Verhnevolzhskij medicinskij zhurnal*, 2017, vol. 16, no. 2, pp. 40-43. (In Russ.)
2. Galushin D. A., Gromov S. A., Avdeev S. M. Mezhdodovaya dinamika himicheskogo sostava i kislotnosti atmosferynyh osadkov na territorii Primorskogo kraya za period s 2011 po 2020 g. [Interannual dynamics of chemical composition and acidity of atmospheric precipitation in the territory of Primorsky Krai for the period from 2011 to 2020]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2022, no. 3, pp. 42-48. (In Russ.)
3. Eremina I. D. Himicheskij sostav atmosferynyh osadkov v Moskve i tendencii ego mnogoletnih izmenenij [Chemical composition of atmospheric precipitation in Moscow and trends of its long-term changes]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2019, no. 3, pp. 3-10. (In Russ.)
4. Zverev V. P., Varvanina O. Yu. Antropogennye izmeneniya himicheskogo sostava atmosferynyh osadkov Evropejskoj Rossii i ih vliyanie na podzemnye vody [Anthropogenic changes in the chemical composition of precipitation in European Russia and their impact on groundwater]. *Geoekologiya*, 2000, no. 3, pp. 216-223. (In Russ.)
5. Ionnyj sostav geneticheskikh tipov vod malogo rechnogo bassejna: stacionarnye issledovaniya v central'nom Sihote-Aline [Ionic composition of genetic types of waters of the small river basin: stationary studies in central Sikhote-Alin] / A. G. Bol-deskul, V. V. Shamov, B. I. Garcmán, N. K. Kozhevnikova. *Tihookeanskaya geologiya*, 2014, vol. 33, no. 2, pp. 90-101. (In Russ.)
6. Kondrat'ev I. I. *Fonovye potoki aerol'nogo veshchestva yuga Dal'nego Vostoka Rossii, kak regional'naya osnova ocenki zagryazneniya atmosfery* [Background flows of aerial matter in the South of the Russian Far East as a regional basis for assessing atmospheric pollution]: avtoref. diss. ... kandidata geogr. nauk. Vladivostok, 2000. 25 p. (In Russ.)
7. Kondrat'ev I. I. Transgranichnyj faktor v izmenchivosti himicheskogo sostava osadkov na yuge Dal'nego Vostoka Rossii [Transboundary factor in the variability of the chemical composition of precipitation in the South of the Russian Far East]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2009, no. 3, pp. 31-37. (In Russ.)
8. Muha D. E., Kondrat'ev I. I., Mezenceva L. I. Transgranichnyj perenos kislotnyh osadkov ciklonami Vostochnoj Azii na yug Dal'nego Vostoka Rossii [Transboundary transfer of acid precipitation by East Asian cyclones to the South of the Russian

© Yurchenko S. G., 2024

✉ Svetlana G. Yurchenko, e-mail: recech@yandex.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Far East]. *Geografiya i prirodnye resursy*, 2012, no. 2, pp. 21-26. (In Russ.)

9. O himicheskom sostave atmosferynyh osadkov i snezhnogo pokrova v Primorskom krae [On the chemical composition of precipitation and snow cover in Primorsky Krai] / I. I. Kondrat'ev, D. E. Muha, A. G. Boldeskul i dr. *Meteorologiya i gidrologiya*, 2017, no. 1, pp. 91-100. (In Russ.)

10. Prozhorina T. I., Nefedova E. G. Issledovanie meteorologicheskikh i himicheskikh parametrov atmosferynyh osadkov v osenne-zimnij period kak indikatora zagryazneniya vozduha g. Voronezha [Investigation of meteorological and chemical parameters of atmospheric precipitation in the autumn-winter period as an indicator of air pollution in Voronezh]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2013, no. 1, pp. 145-149. (In Russ.)

11. Svistov P. F., Pershina N. A., Pavlova M. T. Atmosferynye osadki: himicheskij sostav i kislotnost' [Precipitation: chemical composition and acidity]. *Priroda*, 2015, no. 6, pp. 28-36. (In Russ.)

12. Svistov P. F., Polishchuk A. I., Pershina N. A. Kachestvennaya ocenka zagryazneniya okruzhayushchej sredy (po dannym o himicheskom sostave atmosferynyh osadkov) [Qualitative assessment of environmental pollution (based on data on the chemical composition of precipitation)]. *Trudy glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A. I. Vojkova*, 2010, no. 562, pp. 76-94. (In Russ.)

13. Semenec E. S., Pavlova M. T. Kislotnost' atmosferynyh osadkov, выпадаящих на территории Северо-Западного федерального округа [Acidity of atmospheric precipitation falling on the territory of the North-Western Federal District]. *Trudy glavnoj geofizicheskoy observatorii im. A. I. Vojkova*, 2019, no. 593, pp. 99-115. (In Russ.)

14. Surkova G. V., Eremina I. D., Zorina S. A. Vliyanie kontinental'nyh i morskikh istochnikov na himicheskij sostav letnih

atmosferynyh osadkov severo-vostochnogo poberezh'ya Chernogo morya [Influence of continental and marine sources on the chemical composition of summer precipitation on the northeastern coast of the Black Sea]. *Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shelf'noj zony i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shelf'a*, 2005, no. 12, pp. 208-214. (In Russ.)

15. Formirovanie kislotnosti dozhdevykh vod v zalesennom bassejne Sihote-Alinskoy gornoj oblasti [Formation of acidity of rainwater in the forested basin of the Sikhote-Alin mountain region] / N. K. Kozhevnikova, A. G. Boldeskul, T. N. Lutsenko i dr. *Geokhimiya*, 2022, vol. 67, no. 12, pp. 1297-1311. (In Russ.)

16. Chudaeva V. A., Chudaev O. V., Yurchenko S. G. Osobennosti himicheskogo sostava atmosferynyh osadkov na yuge Dal'nego Vostoka [Features of the chemical composition of atmospheric precipitation in the south of the Far East]. *Vodnye resursy*, 2008, vol. 35, no. 1, pp. 60-71. (In Russ.)

17. Yurchenko S. G., Bogdanova N. N. Osobennosti formirovaniya himicheskogo sostava atmosferynyh выпадений в районе города Владивосток [Features of the formation of the chemical composition of atmospheric precipitation in the area of the city of Vladivostok]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geografiya. Geoekologiya*, 2017, no. 4, pp. 83-86. (In Russ.)

18. Yurchenko S. G. Himicheskij sostav dozhdevykh vod poberezh'ya severo-zapadnoj chasti zaliva Petra Velikogo (yug Primor'ya) [Chemical composition of rain waters of the coast of the north-western part of Peter the Great Bay (south of Primorye)]. *Voda: himiya i ekologiya*, 2019, no. 3-6, pp. 143-147. (In Russ.)

Conflict of interests: The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 03.12.2023

Accepted: 02.12.2024

Светлана Григорьевна Юрченко

Кандидат географических наук, научный сотрудник лаборатории геохимии Тихоокеанского института географии ДВО РАН, г. Владивосток, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-2008-1103, e-mail: recech@yandex.ru

Svetlana G. Yurchenko

Cand. Sci. (Geogr.), Researcher at the Laboratory of Geochemistry of the Pacific Geographical Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2008-1103, e-mail: recech@yandex.ru