

УДК 502/504

DOI: 10.15372/GIPR20240309

И.С. СИНЬКОВА, В.П. ШЕСТЁРКИН, Н.М. ШЕСТЁРКИНА, К.С. МАКАРЕВИЧ, О.И. КАМИНСКИЙ

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
680000, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56, Россия, rina.sinkova@gmail.com,
shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru, makarevich7@mail.ru, kamin_div0@mail.ru

АНТРОПОГЕННОЕ ВЛИЯНИЕ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД МАЛЫХ РЕК ХАБАРОВСКА В ЗИМНЮЮ МЕЖЕНЬ

Проведена оценка антропогенной нагрузки на урбанизированные территории и их окрестности посредством мониторинга химических показателей вод малых рек. Рассмотрено 17 водотоков, дренирующих территорию Хабаровска и его окрестностей. Отбор проб и измерения проводились в период зимней межени. Использованы данные, полученные за 2017–2021 гг. Посредством кластерного анализа выявлены четыре группы водных объектов, различающихся степенью изменения гидрохимических показателей и присутствием техногенных загрязнителей. Определены районы, испытывающие наибольшее антропогенное воздействие, и возможные источники поступления загрязнителей. В первый кластер попали реки, протекающие в южной и северо-восточной частях Хабаровска (Гнилая Падь, Чёрная, Безымянная и Матрёниха). Второй кластер составляют преимущественно реки, дренирующие центральную часть города (Осиповка, Лесопилка, Чердымовка, Плюснинка) и (реже) восточную (Полежаевка и Гнилая Падь). В третий кластер, помимо рек центральной части (Курча-Мурча, Чердымовка), вошли реки, протекающие в отдалённых районах Хабаровска (Берёзовая и Красная Речка). Четвёртый кластер представлен исключительно реками, дренирующими территорию Большехехицкого заповедника (Левая, Правая, Осиновая, Половинка, Быкова). Пробы воды рек, попавших в данный кластер, характеризуются наиболее низкими значениями концентраций химических веществ. Это позволяет говорить о том, что данные водотоки не испытывают значительного антропогенного влияния. Поэтому значения их гидрохимических показателей можно принять за фоновые концентрации химических веществ в воде малых рек Хабаровска и его заселённых окрестностей, а также использовать для оценки техногенного загрязнения.

Ключевые слова: малые реки, гидрохимический анализ, кластерный анализ, антропогенная нагрузка, техногенные загрязнители.

I.S. SINKOVA, V.P. SHESTERKIN, N.M. SHESTERKINA, K.S. MAKAREVICH, O.I. KAMINSKY

Institute of Water and Environmental Problems, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences,
680000, Khabarovsk, ul. Dikopoltseva, 56, Russia, rina.sinkova@gmail.com,
shesterkin@ivep.as.khb.ru, shesterkina@ivep.as.khb.ru, makarevich7@mail.ru, kamin_div0@mail.ru

ANTHROPOGENIC INFLUENCE ON CHEMICAL COMPOSITION OF WATERS IN SMALL RIVERS OF Khabarovsk COMPOSITION DURING THE WINTER LOW-WATER PERIOD

The anthropogenic load on urbanized areas and their surroundings by monitoring the chemical parameters of waters of small rivers was assessed. Seventeen such watercourses draining the territory of Khabarovsk and its suburbs were considered. Sampling and measurements were carried out during the winter low-water period. The data obtained for 2017–2021 were used in this study. By means of cluster analysis, four groups of water bodies were identified, which differed in the degree of change in hydrochemical indicators and the presence of anthropogenic pollutants. Areas experiencing the greatest anthropogenic impact were identified as well as possible sources of pollutants. The first cluster includes rivers flowing in the southern and northeastern parts of Khabarovsk (Gnilaya Pad, Chernaya, Bezmyannaya and Matrenikha Rivers). The second cluster mainly includes rivers in the central part of Khabarovsk (Osipovka, Lesopilka, Cherdymovka and Plyusninka Rivers) and less often in the eastern part (Polezhaevka and Gnilaya Pad Rivers). The third cluster, in addition to the rivers of the central part (Kurcha-Murcha and Cherdymovka), included rivers of remote districts of Khabarovsk (Berezovaya, and Krasnaya Rechka). The fourth cluster is represented exclusively by the rivers draining the territory of the Bolshekhkhtsirsky Reserve (Levaya, Pravaya, Osinovaya, Polovinka and Bykova Rivers). The samples in this cluster are characterized by the lowest values of chemical concentrations. This suggests that these rivers do not experience any significant anthropogenic influence. Therefore, they can be taken as background values of the contents of the substances in waters of small rivers draining the territory of the city of Khabarovsk and its populated neighborhood, and also be used to assess anthropogenic pollution.

Keywords: small rivers, hydrochemical analysis, cluster analysis, anthropogenic load, anthropogenic pollutants.

ВВЕДЕНИЕ

Стремительный рост индустриализации усиливает пагубное влияние на жизнь человека, животный мир и окружающую среду вследствие загрязнения поверхностных вод [1]. Понимание гидрохимических процессов и оценка качества воды необходимы для реализации стратегий устранения загрязнений и управления природными водными ресурсами [2]. Однако единичные наблюдения малоэффективны ввиду протекания большого количества нелинейных гидрохимических процессов в водотоках. Для районов с изменчивой топографией, геологией и типами землепользования характерна большая неоднородность гидрохимических показателей [3].

Измерение физико-химических характеристик вод дает необходимую информацию для классификации качества воды [4]. Системы классификации в первую очередь основаны на изменчивости концентраций различных параметров, а также на ряде определенных показателей [5]. Однако решить, в какой степени качество воды варьируется между классами, путем применения обычной классификации — сложная задача [6]. Например, классические оценки качества воды, такие как диаграммы Стиффа [7] и Пайпера [8], часто используются для классификации на основе визуального сравнения, но они не способны обеспечить более точное разделение. Поэтому для оценки временных и пространственных изменений качества вод обычно используются многомерные методы, например кластерный и факторный анализ, а также анализ главных компонентов [9]. Некоторые авторы [10–13] сходятся во мнении, что для оценки качества вод нецелесообразно использовать предельно допустимые концентрации (ПДК), поскольку такие значения являются едиными для всей территории России и не учитывают региональных особенностей вод.

На территории Российской Федерации насчитывается свыше 2,5 млн малых рек. Водотоки являются важнейшим связующим элементом экологического каркаса города, который участвует в формировании биопродуктивности, в повышении биоразнообразия ландшафта и сохранении его экологической устойчивости [14].

В настоящее время, несмотря на жесткие нормы и требования к качеству промышленных и коммунально-бытовых сточных вод, сбрасываемых в природные водные объекты [15], а также к системам очистки стоков от загрязняющих веществ, экологическое состояние водотоков не является благополучным [16]. Причина тому — повсеместное развитие водоемких отраслей, в качестве отходов образующих стоки, приносящие значительные массы поллютантов за счет больших объемов сточных вод, приведенных к нормативно чистому состоянию. Также недостаточно эффективны системы очистки технологических вод [17]. Проблема загрязнения водотоков токсичными элементами из бытовых стоков и смывов с прилегающих территорий уже освещалась во многих фундаментальных работах [18, 19].

Цель работы — оценка степени антропогенного воздействия на урбанизированные территории посредством кластерного анализа гидрохимических показателей малых рек, дренирующих территорию Хабаровска и его окрестностей, находящихся в пределах Большехехцирского заповедника.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В исследованиях применяется большой арсенал методов по выявлению загрязняющих веществ в различных средах [20, 21]. С учетом сложности указанных измерений и больших затрат времени целесообразно применять скрининговый подход к исследованию территорий. Полученные таким образом лабораторные данные станут хорошей информационной базой для долгосрочной оценки экологического состояния территории. Для этой цели наиболее показательным и предпочтительным является химический анализ вод малых рек.

По территории Хабаровска и его окрестностей протекает 17 малых рек (рис. 1). Дренируя разные районы города, они подвергаются антропогенному воздействию. За счет низкой водности любое техногенное вмешательство отражается на химическом составе воды [22]. Анализ качества воды рек высокой водности менее информативен и не может указывать на мелкие локальные источники загрязнения ввиду сильного разбавления вод.

Небольшое количество крупных производств расположено в разных частях Хабаровска. Для его центральной и северной частей характерна высотная застройка, в южной и юго-восточной — преобладает частный сектор. Такая ситуация позволяет рассматривать отдельные районы города в качестве примера урбанизированной территории с различными источниками поступления загрязняющих веществ — от бытовых и сельскохозяйственных до поллютантов промышленного происхождения.

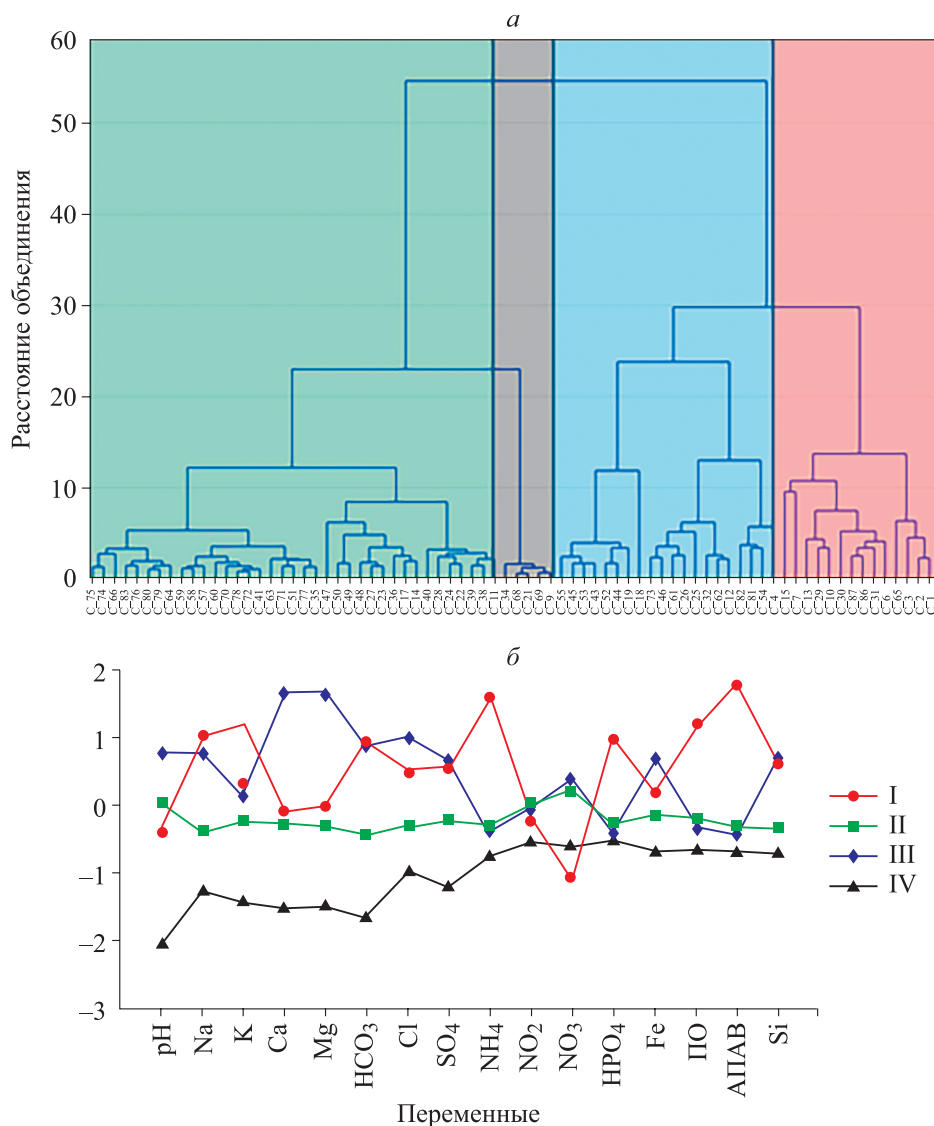


Рис. 1. Дендрограмма результатов кластерного анализа (а) и средние значения стандартизованных переменных для каждого кластера (б).

I–IV — номера кластеров.

Предпочтительный период измерений должен характеризоваться наибольшей стабильностью измеряемых показателей при минимальном воздействии погодных явлений. Также важно отделять единичные пиковые выбросы концентраций загрязнителей от систематически регистрируемого высокого содержания [23]. Эти критерии делают осенне-весенний период малопригодным для мониторинга ввиду уменьшения концентраций загрязнителей за счет активного пополнения водотока талыми водами и активными осадками, а не из-за снижения их поступления от источника загрязнения. Летний период также малопригоден для такого наблюдения, поскольку для него характерны как сильные ливневые дожди, так и периоды высоких температур, вызывающих пересыхание мелких рек [24]. Исходя из этого, наблюдения предпочтительно проводить в зимнее время [25]. Для Хабаровска это период с конца ноября по начало марта.

В данной работе использованы данные, полученные в период зимней межени в 2017–2021 гг. Всего было отобрано 76 проб, из них 14 — в 2017 г., 17 — в 2018, 8 — в 2019, 19 — в 2020, 18 — в 2021 г. Наблюдение за реками, дренирующими территорию Большехехирского заповедника, осуществлялось в 2017 и 2021 гг. в условиях устойчивости гидрохимических показателей и отсутствия выраженного антропогенного влияния.

**Медианные значения гидрохимических показателей в каждом кластере
и среднее содержание минеральных веществ в речной воде (в растворенной форме), мг/л**

| Показатель | Кластер | | | | Среднее содержание, по [30] |
|--------------------------------|----------------|----------------|----------------|---------------|-----------------------------|
| | I | II | III | IV | |
| pH | 7,14 ± 0,18 | 7,33 ± 0,10 | 7,65 ± 0,27 | 6,44 ± 0,41 | — |
| Na ⁺ | 54,00 ± 12,00 | 22,50 ± 3,50 | 48,00 ± 16,00 | 4,5 ± 2,5 | 5,00 |
| K ⁺ | 11,50 ± 0,90 | 5,70 ± 1,10 | 7,20 ± 2,20 | 0,80 ± 0,50 | 2,00 |
| Ca ²⁺ | 34,50 ± 7,50 | 30,50 ± 2,50 | 67,00 ± 12,00 | 7,50 ± 4,50 | 12,00 |
| Mg ²⁺ | 10,65 ± 2,15 | 8,95 ± 0,85 | 20,25 ± 3,95 | 2,05 ± 1,05 | 2,90 |
| HCO ₃ ⁻ | 295,00 ± 55,00 | 153,00 ± 15,00 | 288,00 ± 68,00 | 26,00 ± 16,00 | — |
| Cl ⁻ | 70,00 ± 30,00 | 32,50 ± 7,50 | 92,00 ± 47,00 | 4,05 ± 3,95 | 5,50 |
| SO ₄ ²⁻ | 30,00 ± 7,00 | 20,00 ± 2,00 | 25,50 ± 9,50 | 7,50 ± 2,50 | — |
| NH ₄ ⁻ | 28,40 ± 9,40 | 5,45 ± 1,65 | 4,65 ± 4,15 | 0,40 ± 0,40 | — |
| NO ₂ ⁻ | 0,18 ± 0,18 | 0,27 ± 0,08 | 0,25 ± 0,10 | 0,02 ± 0,01 | — |
| NO ₃ ⁻ | 0,90 ± 0,80 | 5,25 ± 0,75 | 5,65 ± 1,65 | 2,50 ± 1,10 | — |
| HPO ₄ ²⁻ | 5,25 ± 3,25 | 0,75 ± 0,25 | 0,35 ± 0,35 | 0,10 ± 0,10 | — |
| Fe | 6,00 ± 1,30 | 2,95 ± 1,85 | 4,70 ± 3,80 | 0,04 ± 0,02 | 0,07 |
| ПО | 47,50 ± 22,50 | 14,50 ± 5,50 | 12,00 ± 5,00 | 3,40 ± 0,90 | — |
| АПАВ | 1,50 ± 0,40 | 0,25 ± 0,10 | 0,18 ± 0,13 | 0,02 ± 0,01 | — |
| Si | 7,80 ± 1,60 | 6,05 ± 0,35 | 8,00 ± 1,60 | 5,35 ± 0,45 | 6,00 |

Примечание. Прочерк — отсутствуют значения общемирового среднего содержания в пресных водах по литературным данным.

Химический состав вод определялся в лаборатории Центра коллективного пользования Института водных и экологических проблем (ИВЭП) ДВО РАН при помощи стандартных методов [26]. Значения содержания NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁻, SO₄²⁻ и HPO₄²⁻ приведены в ионной форме. Статистические расчеты были сделаны в программном комплексе STATISTICA 10. Отбор проб производился согласно нормативно-правовым документам [27–29] в период зимней межени.

Данные химического анализа вод малых рек (76 проб) были подвергнуты кластерному анализу (методом Варда с использованием евклидовых расстояний), который показал, что массив данных состоит из четырех кластеров. Медианные значения для каждого гидрохимического параметра в каждом кластере приведены в таблице. В качестве меры изменчивости использовалось среднее квадратичное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

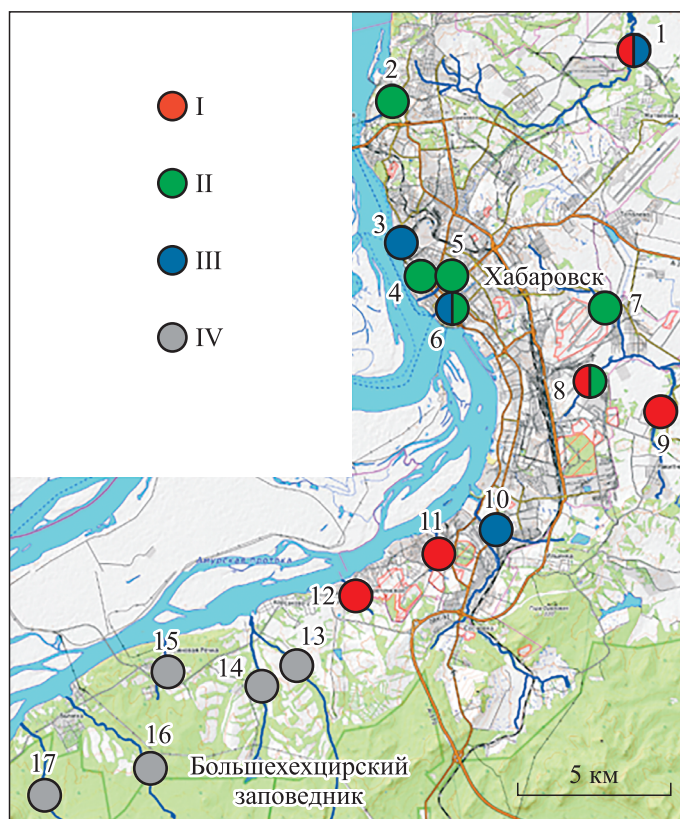
На рис. 1, а приведена дендрограмма, по которой было выполнено разделение на кластеры. На рис. 1, б представлен график, демонстрирующий, по каким химическим показателям осуществлялась кластеризация проб; по оси ординат отложены стандартизированные данные всех рассмотренных показателей в разрезе получаемых кластеров (со средним значением равным нулю и стандартным отклонением равным 1 по каждому показателю). Распределение рек по четырем кластерам показано на рис. 2.

Реки заповедных территорий (Левая, Правая, Осиновая, Половинка, Быкова) сформировали отдельный кластер — четвертый, характеризующийся наиболее низкими значениями гидрохимических показателей. Особенно ярко выделяется медианный показатель уровня pH (6,44 ± 0,41), что ниже, чем у других кластеров (см. рис. 1, б). Значения остального ряда гидрохимических показателей проб из четвертого кластера не превышают фоновых концентраций для поверхностных вод [30]. Это позволяет говорить о том, что данные реки не испытывают выраженного антропогенного влияния. Поэтому значения их гидрохимических показателей можно принять за фоновые концентрации химических веществ в воде малых рек Хабаровска и его заселенных окрестностей, а также использовать для дальнейшей оценки техногенного загрязнения.

Второй кластер характеризуется значениями показателей, которые максимально приближены к средним по всем рекам. Завышенным относительно средних значений является только содержание нитрат-иона (4,5–6,0 мг/л). Данный кластер преимущественно сформировали реки, протекающие в цент-

Рис. 2. Расположение малых рек на территории Хабаровска и его окрестностей.

I–IV — номера кластеров. Реки: 1 — Берёзовая, 2 — Осиповка, 3 — Курча-Мурча, 4 — Лесопилка, 5 — Чердымовка, 6 — Плюснинка, 7 — Полежаевка, 8 — Гнилая Падь, 9 — Чёрная, 10 — Красная Речка, 11 — Безымянная, 12 — Матрёниха, 13 — Левая, 14 — Правая, 15 — Осиновая, 16 — Половинка, 17 — Быкова.



ральной части города и (реже) — в восточной (Осиповка, Лесопилка, Чердымовка, Плюснинка, Полежаевка, Гнилая Падь), для которой характерна высотная застройка. Поскольку на территории водосборов отсутствуют крупные промышленные производства и сельскохозяйственные угодья, основными источниками питания в зимний период являются бытовые стоки жилищно-коммунального хозяйства. Столь ограниченное число источников сильных загрязнений прослеживается на графике (см. рис. 1, б), большинство значений концентраций стабильно ниже среднего показателя по всем пробам.

Наиболее сходным со вторым является третий кластер (реки Берёзовая, Курча-Мурча, Чердымовка, Красная Речка). Анализ результатов, представленных на графике (см. рис. 1, б), выявил аналогичную динамику содержания веществ. Отличительными особенностями проб воды из рек, относящихся к третьему кластеру, являются повышенные жесткость (средний показатель содержания Ca^{2+} (67 мг/л) превышает среднее значение фоновой концентрации для данной территории (7,5 мг/л) в 8,9 раза, Mg^{2+} (20,25 мг/л) превышает фон (2,05 мг/л) в 9,9 раза) и щелочность (среднее содержание HCO_3^- (288 мг/л) превышает фоновое (26 мг/л) в 11 раз). Такое различие, вероятно, обусловлено тем, что реки данного кластера питаются в основном подземными водами, протекающими через аллювиальные отложения. Также для этих рек характерны наибольшие концентрации Cl^- , Fe, SO_4^{2-} .

Пробы, отнесенные к кластеру № 1 (реки Берёзовая, Гнилая Падь, Чёрная, Безымянная и Матрёниха), принадлежат рекам южной и восточной части города и в основном дренируют территории частного сектора. Как правило, наибольшая часть участков отведена под садово-огородное хозяйство, что подразумевает использование различных удобрений.

Первый кластер представлен пробами, в которых отмечено загрязнение воды HPO_4^{2-} (2,0–8,5 мг/л), NH_4^+ (19,0–37,8 мг/л) и анионными поверхностно-активными веществами (АПАВ) (1,1–1,9 мг/л), отмечаются повышенные значения Na^+ (42–66 мг/л), K^+ (10,6–12,4 мг/л) и перманганатной окисляемости (ПО) (25–70 мг O_2 /л). Ранее уже отмечались нарушения азотного цикла в этих реках [31, 32].

Превышено содержание Na^+ (в 12 раз), K^+ (в 14 раз), HPO_4^{2-} (в 54 раза) по сравнению с фоновыми значениями для данной территории. Мелкое скотоводство и неконтролируемые сбросы отходов обуславливают наиболее высокие концентрации аммонийного азота (превышено в 71 раз по сравнению с фоновыми значениями) и АПАВ (превышено в 43 раза) в рассмотренных пробах.

Установлено, что в первый кластер периодически попадают пробы из р. Берёзовой и р. Гнилая Падь, которые, как правило, относятся к третьему и второму кластерам соответственно. Гидрохимический состав этих рек, предположительно, подвергался влиянию таких крупных антропогенных источников загрязнения, как птицефабрики. Недостаточный контроль очистки сточных вод приводит к повышению содержания фосфатов и аммонийного азота в пробах воды, отобранных ниже по течению из рек, которые дренируют прилегающие к таким предприятиям территории. Этих колебаний гидрохимического состава достаточно, чтобы отнести часть проб к первому кластеру. Кроме того, р. Берёзовая протекает близ завода строительной керамики, расположенного выше по течению от

точки отбора проб. Для недостаточно очищенных сточных вод такого типа промышленности характерны повышенные концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} и Cl^- . Смешивание с водами основного русла р. Берёзовой вызывает значительное повышение общей жесткости воды в отобранных пробах, которые статистически перемещаются в третий кластер.

Пробы из р. Плюснинки периодически попадают как во второй, так и в третий кластер. Свободная от точечных антропогенных источников поступления загрязнителей, река остается подвержена загрязнению водами из изношенных систем водоснабжения и водоотведения, для которых характерны повышенные концентрации Ca^{2+} , Mg^{2+} и Cl^- .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате кластерного анализа данных гидрохимических исследований малых рек, дренирующих территорию Хабаровска, удалось выявить три группы территорий, испытывающих различную антропогенную нагрузку (первый, второй и третий кластеры). В отдельный, четвертый кластер выделены районы, свободные от выраженного антропогенного вмешательства, находящиеся на территории Большехехирского заповедника.

Территории, испытывающие наименьшую антропогенную нагрузку, занимают преимущественно центральную часть города и представлены вторым и третьим кластерами. Средние превышения фоновых значений составляют 9 и 15 раз соответственно.

Территории, испытывающие наибольшую нагрузку (в среднем превышение фоновых значений более чем в 21 раз), расположены на периферии города (первый кластер). Отличительной чертой рек этой группы является значительное превышение аммонийного азота, фосфатов и АПАВ.

Таким образом, показана возможность использования кластерного анализа данных гидрохимического исследования малых рек для индикации интенсивности и типов антропогенного воздействия на урбанизированные территории.

Работа выполнена при финансовой поддержке Правительства Хабаровского края (договор № 89С/2022 от 11.11.2022).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yu Y., Li C., Huang S., Hu Z., Chen Z., Gao H. BiOBr hybrids for organic pollutant removal by the combined treatments of adsorption and photocatalysis // RSC Advances. — 2018. — N 8. — P. 32368–32376. — DOI: 10.1039/C8RA03673J
2. Li T., Sun G., Yang Ch., Liang K., Ma Sh., Huang L. Using self-organizing map for coastal water quality classification: Towards a better understanding of patterns and processes // Science of the Total Environment. — 2018. — Vol. 628–629. — P. 1446–1459. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.163
3. Tsuchihara T., Shirahata K., Ishida S., Yoshimoto S. Application of a self-organizing map of isotopic and chemical data for the identification of groundwater recharge sources in Nasunogahara alluvial fan // Japan Water. — 2020. — N 12. — P. 278. — DOI: <https://doi.org/10.3390/w12010278>
4. Rahman A.T.M.S., Kono Yu., Hosono T. Self-organizing map improves understanding on the hydrochemical processes in aquifer systems // Science of the Total Environment. — 2022. — Vol. 846. — P. 157281. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2022.157281
5. Aguilera P.A., Frenich A.G., Torres J.A., Castro H., Martinez-Vidal J.L., Canton M. Application of the kohonen neural network in coastal water management: methodological development for the assessment and prediction of water quality // Water Research. — 2001. — N 35. — P. 4053–4062. — DOI: 10.1016/S0043-1354(01)00151-8
6. Barclay J.R., Tripp H., Bellucci C.J., Warner G., Helton A.M. Do waterbody classifications predict water quality? // Journ. of Environmental Management. — 2016. — N 183. — P. 1–12. — DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.08.071
7. Stiff H.A. The interpretation of chemical water analysis by means of patterns // Journ. of Petroleum Technology. — 1951. — N 3. — P. 15–16. — DOI: 10.2118/-951376-G
8. Piper A.M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Transactions of the American Geophysical Union. — 1944. — N 25. — P. 914–923.
9. Orak E., Akkoyunlu A., Can Z.S. Assessment of water quality classes using self-organizing map and fuzzy C-means clustering methods in Ergene River, Turkey // Environmental Monitoring and Assessment. — 2020. — N 192. — P. 638. — DOI: 10.1007/s10661-020-08560-3
10. Lozovik P.A., Kulakova N.E. Methodological approaches to pollution assessment in water bodies within the operation zone of mining plants // Water Resources. — 2014. — N 4. — P. 464–472. — DOI: 10.1134/S0097807814040101
11. Лозовик П.А., Галахина Н.Е. Оценка загрязненности водных объектов и нормирование допустимой антропогенной нагрузки на них // Вестн. Моск. ун-та. Сер. геогр. — 2019. — № 6. — С. 133–137.

12. Двуреченская С.Я., Булычева Т.М. К вопросу о методических подходах к определению качества воды по интегральным показателям (на примере Новосибирского водохранилища) // Вода: химия и экология. — 2015. — № 10. — С. 32–37.
13. Новикова Л.В., Выборнова И.Б., Степанова Н.Ю. Сравнительная оценка качества воды рек с разным типом антропогенной нагрузки на водосборе по гидрохимическим индексам // Вестн. Технол. ун-та. — 2017. — № 20 (23). — С. 91–95.
14. Варенов А.Л. Малые реки города и пригородных территорий: эколого-русловой аспект изучения и восстановления // Малые реки города: проблемы и перспективы развития. — Нижний Новгород: Изд-во Новосиб. пед. ун-та им. К. Минина, 2014. — С. 24–33.
15. Гелашвили Д.Б. Принципы обоснования нормативов допустимого воздействия (НДВ) по привносу химических и взвешенных минеральных веществ в поверхностные водные объекты // Экол. мониторинг. Ч. 8: Современные проблемы мониторинга пресноводных экосистем. — Нижний Новгород: Изд-во Нижегород. ун-та, 2014. — С. 43–60.
16. Рапута В.Ф., Зиновьев А.Т., Ловцкая О.В. Анализ процессов загрязнения малой реки на городской территории // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2019. — Т. 4, № 1. — С. 134–140. — DOI: 10.33764/2618-981X-2019-4-1-134-140
17. Козлов А.В., Ключков Е.А., Бодяшина М.А., Береснев А.А., Калиничева З.С., Фирова А.А. Выявление тенденций в эколого-гидрохимических свойствах малых проточных водотоков в условиях техногенной нагрузки города Нижнего Новгорода // Успехи современного естествознания. — 2019. — № 12-2. — С. 280–287.
18. Xu D., Lee L.Y., Lim F.Ye., Lyu Zh., Zhu H., Ong S.L., Hu J. Water treatment residual: A critical review of its applications on pollutant removal from stormwater runoff and future perspectives // Journ. of Environmental Management. — 2020. — Vol. 259. — DOI: 10.1016/j.jenvman.2019.109649
19. Müller A., Österlund H., Marsalek J., Viklander M. The pollution conveyed by urban runoff: A review of sources // Science of The Total Environment. — 2020. — Vol. 709. — DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.136125
20. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. — СПб.: Росгидромет, 2002. — 55 с.
21. РД 52.24.309-2016. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши [Электронный документ]. — <https://e-ecolog.ru/docs/> (дата обращения 20.08.2023).
22. Шестёркин В.П., Афанасьева М.И., Шестёркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // Геология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. — 2019. — № 3. — С. 42–51.
23. Шестёркин В.П., Синькова И.С., Шестёркина Н.М. Солевой состав вод малых рек центральной части Хабаровска в период весеннего половодья // Региональные проблемы. — 2022. — Т. 25, № 3. — С. 60–62. — DOI: 10.31433/2618-9593-2022-25-3-60-62
24. Шестёркин В.П., Синькова И.С., Шестёркина Н.М. Фосфаты в воде малых рек Хабаровского края // Гео-системы Северо-Восточной Азии: географические факторы динамики и развития их структур: Сб. науч. ст. X науч.-практ. конференции (Владивосток, 21–22 апреля 2022 г.). — Владивосток: Изд-во Тихоокеан. ин-та географии ДВО РАН, 2022. — С. 151–155. — DOI: 10.35735/9785604701171_151
25. Синькова И.С. Оценка качества воды малых рек Хабаровска в зимнюю межень в 2020–2021 годах // Региональные проблемы. — 2021. — Т. 24, № 2–3. — С. 43–46. — DOI: 10.31433/2618-9593-2021-24-2-3-43-46
26. РД 52.18.595-96. Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды [Электронный вариант]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200036098?ysclid=lscohgwh4127058871> (дата обращения 20.09.2023).
27. ГОСТ 31861-2012. Вода. Общие требования к отбору проб (с 01.01.2023 ГОСТ Р 59024-2020). — М.: Стандартинформ, 2013. — 36 с.
28. ГОСТ 17.1.5.05-85. Гидросфера. Общие требования к отбору поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков» (с 01.01.2023 ГОСТ Р 70282-2022) [Электронный ресурс]. — <https://docs.cntd.ru/document/1200008297?ysclid=lscep10t03c917165623> (дата обращения 20.09.2023).
29. РД 52.24.353-2012. Отбор проб поверхностных вод суши и очищенных сточных вод. — Ростов-на-Дону: Росгидромет, 2012. — 35 с.
30. Архипов А.Я., Бугров В.А., Соловов А.П., Воробьев С.А., Гершман Д.М. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. — М.: Недра, 1990. — 335 с.
31. Shesterkin V.P., Sinkova I.S., Kaminsky O.I. Dynamics of the content of mineral forms of nitrogen in the water of small rivers in Khabarovsk during the winter period // Journ. of Ecological Engineering. — 2021. — Vol. 22, N 10. — P. 121–126. — DOI: 10.12911/22998993/142120issn
32. Синькова И.С., Шестёркин В.П. Содержание соединений минеральных форм азота в воде малых рек Хабаровска в период зимней межени // Регионы нового освоения: современное состояние природных комплексов и их охрана: Материалы Междунар. науч. конференции (Хабаровск, 5–7 октября 2021 г.). — Хабаровск: Изд-во Ин-та водных и экологических проблем ДВО РАН, 2021. — С. 205–209.

Поступила в редакцию 12.03.2023

После доработки 23.08.2023

Принята к опубликованию 07.05.2024