

Гидролого-гидрохимическая характеристика малых рек города Владивосток

Владимир Владимирович ШАМОВ^{1,2}
доктор географических наук, главный научный сотрудник
vlshamov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9310-1836>

Светлана Григорьевна ЮРЧЕНКО¹
кандидат географических наук, научный сотрудник
yurchenko@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Анна Геннадьевна БОЛДЕСКУЛ¹
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
boldeskul@tigdvo.r, <https://orcid.org/0000-0001-9014-2405>

Татьяна Николаевна ЛУЦЕНКО¹
кандидат географических наук, старший научный сотрудник
luts@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5433-8248>

Сергей Юрьевич ЛУПАКОВ¹
кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Татьяна Сергеевна ВШИВКОВА^{2,3}
PhD, старший научный сотрудник
sekretar-oes-tv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5246-6214>

Татьяна Владимировна НИКУЛИНА³
кандидат биологических наук, старший научный сотрудник
nikulinatv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4520-5731>

¹ ФГБУН «Тихоокеанский институт географии» ДВО РАН, Владивосток, Россия

² Владивостокский государственный университет, Владивосток, Россия

³ ФГБУН «Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии» ДВО РАН, Владивосток, Россия

Аннотация. В настоящее время воздействие урбанизации на процессы стокоформирования и качество воды в малых реках городов Дальнего Востока остается малоизученным в силу одновременности, разнонаправленности, неоднозначности и сложности этого воздействия. В статье рассматриваются гидрологические и гидрохимические аспекты современного геоэкологического состояния пяти постоянных рек, водосборы которых расположены в пределах Владивостокской городской агломерации и имеют различную длительность освоения, связанную с историей города. Были использованы данные наблюдений по растворенному веществу, полученные в верховьях и устьях рек в предзимний период (конец октября) 2022 г. Выявлено, что соотношение основных растворенных веществ в воде городских рек заметно изменяется от сравнительно мало затронутых

урбанизацией верховьев к их устьевым участкам. Концентрация нитритов, фосфора, металлов (Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cd, Pb) в реках, дренирующих урбанизированную территорию, значительно (до нескольких раз) превышает соответствующие концентрации в воде «условно чистых» верховьев. Превышение ПДК (для объектов рыбохозяйственного значения) по Си в низовьях рек Первая Речка и Вторая Речка составило 1.5 и 4 ПДК соответственно. Выявлено превышение ПДК по Mn в низовьях рек Седанка, Вторая Речка, Черная Речка и Первая Речка на уровне 2 ПДК, 3 ПДК, 10 ПДК и 16 ПДК. На основании сравнения с данными прошлых лет подтвержден вывод о загрязнении речных вод и о существенном влиянии урбанизации на городские реки.

Ключевые слова: река, гидрология, гидрохимия, урбанизация, Владивосток

Для цитирования: Шамов В.В., Юрченко С.Г., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Лупаков С.Ю., Вшивкова Т.С., Никулина Т.В. Гидролого-гидрохимическая характеристика малых рек города Владивосток // Тихоокеанская география. 2025. № 1. С. 33–47. https://doi.org/10.35735/26870509_2025_21_3.

Original article

Hydrological and hydrochemical characteristics of small rivers of the Vladivostok City

Vladimir V. SHAMOV^{1,2}

Doctor of Geographical Sciences, Chief research associate
vlshamov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9310-1836>

Svetlana G. YURCHENKO¹

Candidate of Geographical Sciences, Research associate
yurchenko@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2008-1103>

Anna G. BOLDESKUL¹

Candidate of Geographical Sciences, Senior research associate
boldeskul@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9014-2405>

Tatyana N. LUTSENKO¹

Candidate of Geographical Sciences, Senior Research associate
luts@tigdvo.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5433-8248>

Sergey Yu. LUPAKOV¹

Candidate of Geographical Sciences, Leading research associate
rbir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5804-2604>

Tatyana S. VSHIVKOVA^{2,3}

PhD, Senior research associate
sekretar-oes-tv@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5246-6214>

Tatyana V. NIKULINA³

Candidate of Biological Sciences, Senior research associate
nikulinatv@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4520-5731>

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Vladivostok State University, Vladivostok, Russia

³Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, Vladivostok, Russia

Abstract. At present, the impact of urbanization on flow generation processes, water quality and aquatic biota in small rivers of Far-East Russian cities remains poorly understood due to the multi-

temporal, multi-directional, ambiguous and complex nature of these impacts. The paper deals mainly with hydrological and hydrochemical aspects of the current geo-ecological state of the five largest perennial rivers, which catchment areas are located within the urban agglomeration of the Vladivostok City and have different periods of areal development related to the history of the metropolis. Dissolved matter monitoring data obtained in the headwaters and near-mouth of the five rivers in the pre-winter period (late October) of 2022 were used. It was found that the ratio of major dissolved substances in the urban rivers studied changes significantly from the headwaters, which are relatively unaffected by urbanization, to their estuaries. The concentration of nitrites, phosphorus and various metals such as Fe, Cu, Zn, Mn, Ni, Cd, Pb in the water of the rivers draining the urbanized area is significantly (up to several times) higher than the corresponding concentrations in the water of the “conditionally clean” upper reaches of the rivers studied. The exceedance of the Maximum Allowable Concentration (MAC) of Cu that were established for water bodies of fisheries importance in the lower reaches of the Pervaya Rechka R. and the Vtoraya Rechka R. was 1.5 and 4 MAC, respectively. Exceedances of the MAC of Mn in the lower reaches of the Sedanka, Vtoraya Rechka, Chernaya Rechka and Pervaya Rechka rivers were found to be 2 MAC, 3 MAC, 10 MAC and 16 MAC, respectively. Based on the comparison with the data collected in 1999–2011, conclusions were drawn about the pollution of urban rivers and the significant and complicated impact of urbanization on the rivers draining the territory of the Vladivostok City.

Keywords: river, hydrology, hydrochemistry, urbanization, Vladivostok City

For citation: Shamov V.V., Yurchenko S.G., Boldeskul A.G., Lutsenko T.N., Lupakov S.Yu., Vshivkova T.S., Nikulina T.V. Hydrological and hydrochemical characteristics of small rivers of the Vladivostok City // Pacific Geography. 2025;(1):33-47. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2025_21_3.

Введение

По мере роста городов и городских агломераций влияние урбанизации на состояние речных экосистем привлекает все большее внимание ученых, общественности, муниципальных органов власти, ответственных за экологическое состояние городских территорий [1–3]. Систематическое комплексное изучение воздействия города на речные системы, на показатели качества воды, на русловые и эрозионно-аккумулятивные процессы, на водный баланс речных бассейнов и условия стокоформирования в них – все это имеет большое значение для понимания общей геоэкологической ситуации и закономерностей развития и функционирования речных экосистем в пределах городских территорий [4–7]. Кроме того, это может быть основой для разработки эффективных мер в области восстановления и сохранения рек – важных компонентов городской среды. С каждым годом в мире появляется все больше примеров восстановления городских водотоков, накапливается опыт в этой области; особую ценность представляют результаты, полученные в ходе региональных тематических исследований [8–10]. Проблема деградации городских водных объектов, проявляющаяся в ухудшении их физического, химического и биологического состояния, получила общее название «синдром городских водотоков» [1, 7] и активно исследуется за рубежом [5–7], при этом в России такие исследования пока не получили должного развития [11–13]. Дальний Восток России в этом плане пока слабо изучен [4, 14–16].

Проблемы деградации речных экосистем урбанизированных территорий Дальнего Востока требуют срочного решения, однако на сегодняшний день влияние урбанизации на русловые процессы и химический состав воды рек зоны муссонного климата еще недостаточно оценено. Методы и критерии оценки качества воды по многим показателям не адаптированы к региональным особенностям, что приводит к противоречивым результатам таких оценок [17, 18].

С целью перспективной геоэкологической оценки влияния урбанизации на реки г. Владивосток авторами во время осенней межени 2022 г. было проведено гидролого-гидрохимическое экспресс-обследование наиболее крупных из них.

Объекты исследования

Территория, расположенная в пределах муниципальных границ г. Владивосток, относится к наиболее преобразованному человеком в Приморском крае. В качестве модельных участков были выбраны пять малых рек, расположенных в зонах с разным уровнем и характером воздействия.

Исследуемый район относится к Южно-Приморской горно-долинной провинции Сихотэ-Алинской физико-географической области; здесь преобладают низкие и средневысотные горы с отметками абсолютных высот от 70–90 до 430 м. Полуостров Муравьев-Амурский сложен преимущественно горными породами верхнепалеозойского возраста – алевролитами, песчаниками, аргиллитами, андезитами, туфами [19]. Долины рек, дренирующих эту территорию, расположены на высотах в диапазоне 50–150 м над у.м., имеют ширину в верхней части 3–5 км, в нижней – 1–2 км, подстилаются скальными трещиноватыми породами, перекрытыми маломощным суглинистым элювием. Почвы преимущественно бурые горные лесные с разной степенью оподзоленности и оглеенности. Мощность гумусового горизонта не превышает 20 см. Район относится к зоне хвойношироколиственных лесов [19].

Южная часть полуострова и побережье вдоль Амурского залива на всем протяжении и вглубь от береговой линии на 3–5 км практически полностью заняты городской застройкой, предприятиями, строительными площадками, рекреационными объектами, дорогами и т.д. Рельеф, флора и фауна этой территории претерпели значительные изменения в результате многолетней и постоянно расширяющейся хозяйственной деятельности. В северной части полуострова и на склонах, обращенных к Уссурийскому заливу, остаются ландшафты, сохранившие свой первоначальный облик [4]. Исследуемые реки относятся к категории малых горных рек: первого-второго порядка в верховьях и третьего-четвертого – в устьевой зоне. Схема расположения исследуемых речных бассейнов с указанием пунктов отбора проб приведена на рис. 1.

Реки Объяснения, Первая Речка и Вторая Речка почти на всем протяжении представляют собой коллекторы городских сточных вод различного происхождения. В пределах



Рис. 1. Схема района исследования с выделенными водосборами и местами отбора проб: О – р. Объяснения, П – р. Первая Речка, V – р. Вторая Речка, S – р. Седанка, С – р. Черная Речка; 1, 3, 5, 7, 9 – верхние пункты отбора проб; 2, 4, 6, 8, 10 – нижние пункты отбора проб

Fig. 1. A scheme of the study area with identified catchments and sampling locations: O – the Obyasnensia R., P – the Pervaya Rechka R., V – the Vtoraya Rechka R., S – the Sedanka R.; 1, 3, 5, 7, 9 – the upper sites of water sampling; 2, 4, 6, 8, 10 – the lower sites of water sampling

городской застройки русла этих рек засорены бытовыми отходами. Седанка и Черная Речка находятся в историческом пригороде с относительно низкой плотностью населения и застройки, ландшафтные условия в их верховьях близки к естественным, средние и нижние части водосборов подвержены умеренному антропогенному воздействию. Исследуемые реки стекают с западных склонов Центрального хребта и впадают в Амурский залив Японского моря. Русла рек сложены преимущественно песчано-галечными отложениями, в низовьях дно и берега илистые, берега обычно крутые, высотой до 1 м. Пойма обычно узкая.

Некоторые морфометрические характеристики рек и их водосборов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Морфометрические характеристики изученных рек и их водосборов
Table 1. Morphometric characteristics of the studied rivers and its watersheds

Река	Площадь водосбора, км ²	Общая длина русловой сети, км	Средняя высота водосбора, м над у.м.	Наибольшая высота главного водораздела, м над у.м.
Объяснения	13.3	14.9	84	252
Первая Речка	22.1	22.2	125	412
Вторая Речка	20.5	29.6	127	425
Седанка	37.1	38.4	177	454
Черная Речка	11.4	14.1	130	344

В низовьях р. Объяснения русло спрямлено и обрамлено бетонными плитами. В месте отбора проб О-2 отмечены сбросы ливневой канализации и морская вода, поступающая из системы охлаждения Владивостокской ТЭЦ-2 и служащая местообитанием множества толерантных организмов морской фауны — актиний, прибрежных крабов, двустворчатых моллюсков; пресноводная фауна отмечается крайне редко.

Русло р. Вторая Речка почти на всем протяжении обрамлено железобетонными плитами и лотками с высокими (3–4 м) вертикальными стенками. На устьевом участке длиной 0.6 км и в верховьях река течет в относительно естественных условиях. В верховьях русло выражено слабо, сложено крупными слабоокатанными валунами и галькой; долина узкая, V-образная, с крутыми склонами.

Река Седанка — самая крупная из рассматриваемых рек (см. табл. 1). В ее бассейне расположено водохранилище Пионерское (площадь зеркала 0.84 км²). Бассейн разделяется на относительно естественную верхнюю часть и преобразованную нижнюю часть, включающую водохранилище и расположенный ниже его устьевой участок, давно освоенный под индивидуальные домовладения и иные виды застройки. Обнаружены места сброса сточных вод непосредственно в реку.

Река Черная Речка — наименьшая из рассматриваемых рек. С начала 1990-х гг. вся долина реки интенсивно осваивается под ИЖС, покрывается сетью дорог, ЛЭП и пр. На всем протяжении реки отмечены эрозионные процессы, размыв делювиальных и делюво-аллювиальных отложений, вынос суглинистого материала вниз по течению. В низовье река засорена твердыми бытовыми отходами, в русле отмечается развитие альгобактериальной слизи на каменистых субстратах, а также наличие масляных пятен, от воды исходит сильный гнилостный запах.

Методы исследования

В период с 20 по 27 октября 2022 г. на каждой из пяти рек было обследовано по два участка (рис. 1, табл. 2) с одновременным отбором пробы воды, измерением скорости, ширины и глубины потока (с помощью расходомера SEBA FlowSense, Германия).

Для каждого участка был рассчитан расход воды. Температуру воды, pH и удельную электропроводность (УЭП) измеряли с помощью портативного мультимонитора EC/TDS/pH/Temp НМ-200, Республика Корея. Определение концентрации растворенного кислорода в воде выполнялось с помощью мультипараметрической системы YSI Professional Plus, США.

Химический анализ проб воды проводился в ЦКП ЦЛЭДГИС ТИГ ДВО РАН. Пробы фильтровали через мембранный фильтр с диаметром пор 0.45 мкм. Фильтры сушили и доводили до постоянного веса, после фильтрации, высушивания и повторного взвешивания рассчитывали содержание взвешенных веществ (ВВ) в воде. В данной работе рассмотрен состав только растворимой фракции. Для определения Cl^- , NO_3^- , NO_2^- , SO_4^{2-} применяли ионную хроматографию (LC-10, Япония); общий растворенный фосфор (TDP) определяли спектрофотометрически (UNICO 1201, Россия); макрокатионы Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и микроэлементы Fe, Mn, Ni, Zn, Cu, Cd, Pb анализировали на атомно-абсорбционном спектрофотометре (AA-7000, Япония). Щелочность HCO_3^- и pH определяли на pH-метре Mettler Toledo, Китай. Растворенный органический углерод (POУ) в фильтрате определяли методом термокаталитического окисления на анализаторе TOC-VCPN, Япония. Концентрацию растворенных соединений тяжелых металлов выполнено экстракцией в системе хлороформ – диэтилдитиокарбаминат натрия [20].

Результаты и их обсуждение

Систематические гидролого-геохимические наблюдения (мониторинг) изучаемых рек в настоящее время не осуществляются. Гидрологические характеристики рассчитаны согласно рекомендациям по оценке гидрологических характеристик неизученных рек [21].

Река Объяснения условно разделена на два основных участка – выше Владивостокской ТЭЦ-2 и ниже нее. Режим реки на нижнем участке полностью преобразован работой ТЭЦ-2, в систему охлаждения которой подается морская вода, напрямую сбрасываемая в русло реки, за счет чего водность потока здесь меняется во времени незначительно. Расчетный средний многолетний расход воды в устье реки составляет 0.026 м³/с; минимальный расход воды 95%-ной обеспеченности составляет 0.012 м³/с. Максимальные расходы воды обеспеченности 1 % и 10 % составляют соответственно 85.9 и 32.6 м³/с. Выше Владивостокской ТЭЦ в холодный период года на реке отмечается зимняя межень. Первые ледовые явления – припай – появляются с середины ноября, а образование сплошного ледяного покрова – в декабре. Наибольшая толщина льда наблюдается перед таянием, ранней весной. В нижнем течении реки ледовые явления не наблюдаются.

Водный режим р. Первая Речка аналогичен другим рекам полуострова Муравьев-Амурский. Средний многолетний расход воды в устье составляет 0.044 м³/с; минимальный расход воды 95 %-ной обеспеченности – 0.020 м³/с. Максимальные расходы воды 1%-ной и 10%-ной обеспеченности составляют соответственно 203 и 77.2 м³/с.

Водосбор р. Вторая Речка имеет более короткую в сравнении с предыдущими реками историю освоения, но степень его преобразования сопоставима с ними, в связи с чем гидрологический режим реки существенно изменен. Летняя межень здесь выражена слабо, в среднем наступает через неделю после прохождения очередного паводка и продолжается 20–30 дней до очередных значимых осадков. В засушливые годы река и ее притоки могут пересыхать на перекатах. Расчетные максимальные расходы воды в паводки низкой обеспеченности 1 % и 10 % составляют соответственно 407 и 155 м³/с; средний многолетний расход воды составляет 0.046 м³/с, а минимальный расход 95%-ной обеспеченности – 0.021 м³/с. Максимальный сток данной реки в 2 раза больше, чем р. Первая Речка, несмотря на то, что площади их водосборов близки по величине, предположительно, за счет высоких модулей стока, что связано с большей общей протяженностью и крутизной

склонов долины р. Вторая Речка (см. табл. 1), а также плотной застройкой и обширными участками с искусственными непроницаемыми покрытиями.

Бассейн р. Седанка в верхней части имеет водный режим, близкий к естественному. Несмотря на наибольшие из рассматриваемых площадь водосбора и общую протяженность русловой сети, эта река в нижней части имеет сток, сопоставимый по величине с другими изученными реками. Этому способствует естественная лесная растительность, сохранившаяся на большей части водосбора, и наличие в низовьях регулятора стока – водохранилища Пионерское, построенного в 1960-х гг. Расчетные значения среднего многолетнего расхода воды для верхней части бассейна, где влияние водохранилища практически исключено, составляют $0.067 \text{ м}^3/\text{с}$; минимального расхода воды при 95%-ной обеспеченности – $0.031 \text{ м}^3/\text{с}$; максимальных расходов воды обеспеченности 1 % и 10 % – $596 \text{ м}^3/\text{с}$ и $227 \text{ м}^3/\text{с}$, соответственно.

Черная Речка — водоток, наименее изученный в гидрологическом отношении. Расчетный средний многолетний расход воды в устье составляет $0.022 \text{ м}^3/\text{с}$; минимальный 95%-ной обеспеченности – $0.010 \text{ м}^3/\text{с}$, максимальные 1%-ной и 10%-ной обеспеченности – 73.6 и $27.9 \text{ м}^3/\text{с}$.

Воздействие городской застройки на водосборы исследуемых рек приводит к изменению их гидрологического режима. Данных о стоке, полученных в 2022 г., далеко недостаточно для достоверной количественной оценки изменения доли поверхностного стока в общем его объеме. Изменение суточных значений слоя стока 1%-ной обеспеченности (вероятности превышения 1 раз в 100 лет), обычно связанных здесь с сильными дождевыми паводками, варьируют от 9 до 205 мм. Минимальные оценочные значения оказываются заметно ниже, а максимальные – в 1.5–2 раза выше в сравнении с аналогичными характеристиками ненарушенных рек юга Дальнего Востока [22]. Урбаногенное повышение экстремального слоя стока обеспеченности 1 %, вероятно, обусловлено поверхностным стоком во время дождей с участков, покрытых водонепроницаемыми материалами (асфальт, бетон, их производные). Снижение максимального слоя стока обеспеченности 1 % может быть обусловлено неточностью определения значений расхода воды и/или потерями стока, вызванными строительством котлованов, искусственным водоотведением, отсыпкой грунта и пр.

Предварительный анализ удельного стока, рассчитанного по измеренным данным, показал, что режим исследуемых рек преобразован в различной степени (рис. 2).

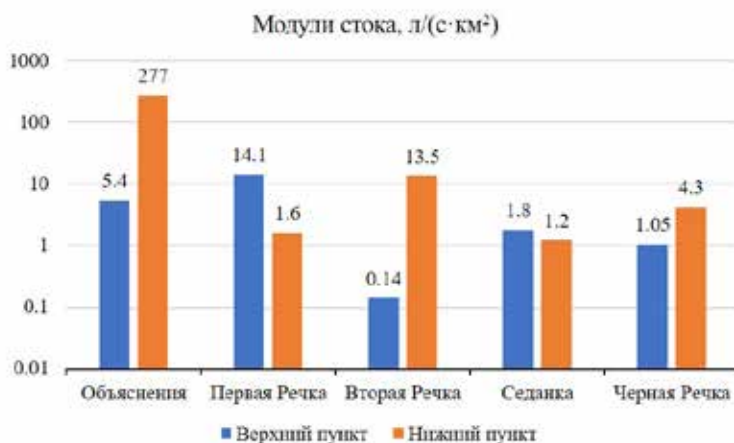


Рис. 2. Сток рек, измеренный в верхних и нижних пунктах наблюдений. Октябрь 2022 г.

Fig. 2. River flow rates measured in the upper and the lower observation sites. October 2022

Черная Речка может рассматриваться в данном контексте как фоновая, т.к. ее бассейн был наименее подвержен изменению в результате застройки; от верховьев к низовьям этой реки модуль стока возрастает. Модуль стока р. Первая Речка сократился почти в 10 раз, предположительно, благодаря уменьшению стокоформирующей площади, несмотря на множество участков с водоупорным покрытием. Удельный сток р. Седанка фактически не изменился за счет регулирующего влияния водохранилища. Модуль стока р. Вторая Речка в нижнем пункте наблюдений оказался почти на два порядка выше по сравнению с верхним, что связано с дополнительным боковым притоком коллекторных вод.

Уникальная ситуация наблюдается на р. Объяснения – модуль стока в нижнем пункте более чем в 51 раз больше, чем в верхнем. Это связано с тем, что река в нижнем течении утратила свои естественные черты: сток во времени практически не меняется т.к. его объем, а также термический режим и химический состав воды в основном контролируются сбросами воды из системы охлаждения турбин ВТЭЦ-2 [23].

Воды исследуемых рек нейтральные или слабощелочные: величины рН в них составляют 6.4–7.7. В верховьях всех пяти рек воды низко минерализованные с близкими значениями концентраций хлоридов, сульфатов и гидрокарбонатов, с незначительным преобладанием одного из анионов, а среди катионов доминируют натрий и кальций. В нижнем течении всех изученных рек их воды приобретают гидрокарбонатно-кальциевый состав, характерный для рек региона [24]. Исключением является р. Объяснения, в низовьях которой воды становятся хлоридно-натриевыми.

Температура воды в нижних пунктах существенно выше температуры в верхних. Особенно выделяется р. Объяснения: в низовьях 21.2 °С против 9.7 °С в верховьях за счет сброса нагретой воды из системы охлаждения ВТЭЦ-2. Для р. Седанка различия температуры между верхним и нижним пунктом отбора проб незначительны (табл. 2).

Концентрации и степень насыщения воды растворенным кислородом в водных экосистемах являются важными показателями экологического благополучия. Поскольку растворимость кислорода сильно зависит от температуры воды, более объективным показателем является не концентрация растворенного кислорода, а именно степень насыщения кислородом (O_2 , %), показывающая, насколько вода обогащена или обеднена им относительно полного насыщения при данной температуре [25]. Для верховий всех пяти рек характерно относительно высокое содержание кислорода (табл. 2). В низовьях наблюдаются резкие различия. Наименьшим насыщением кислородом характеризуются низовья р. Первая Речка (68.5 %), воды которой имеют серый цвет и запах нефтепродуктов. Насыщенность кислородом воды низовьев р. Черная Речка достигает 76.7 %. Ее воды не имеют цвета, но отличаются сильным гнилостным запахом. Более высокие концентрации кислорода обнаружены в низовье р. Вторая Речка (85 %), при этом вода здесь имеет серо-желтый цвет и запах сероводорода. Приустьевые воды р. Седанка отличаются самым высоким насыщением кислородом (140 %).

Содержание взвешенных веществ в воде зависит не столько от антропогенной нагрузки на водосбор, сколько от состава слагающих его горных пород. Наибольшая концентрация взвеси была отмечена в верхнем течении р. Объяснения, что, по-видимому, связано с высоким содержанием глинистого и суглинистого материала в подстилающих породах, активным оврагообразованием на фоне общей нарушенности естественного почвенного покрова. В остальных реках, дренирующих урбанизированные территории, содержание взвеси колебалось в пределах 6.4–14.5 мг/л. Количество взвеси в реках, относительно мало подверженных урбанизации, не превышает 3.5 мг/л. Наблюдается уменьшение содержания взвеси в водотоках по длине – от верхних створов к нижним. Это может быть связано как с незавершенным руслоформированием и активной эрозией склонов в верховьях исследуемых рек, так и общим сокращением источников поступления взвешенного вещества в их среднем и нижнем течении при строительстве искусственных твердых покрытий и бетонных ограждений вдоль русел.

Таблица 2

Основные физико-химические и органолептические показатели вод изученных рек
Table 2. Main physical-chemical and organoleptic characteristics of the waters of the rivers studied

№ участка	УЭП, мкС/см	М, мг/л	Т, °С	рН	Запах	ВВ, мг/л	О ₂ , мг/л	О ₂ , %
О-1	307	188.3	9.7	6.7	Без запаха	89.2	<u>12.1–13.2</u> 12.5(3)	<u>99–107.9</u> 102.4(3)
О-2	–	54845	21.2	7.7	Гнилостный, сероводородный, сильный	8.6	<u>0.85–0.98</u> 0.92(3)	<u>95.8–100.2</u> 98.1(3)
Р-3	158	99.0	10.6	7.3	Без запаха	14.5	<u>11.7–13.5</u> 12.5(3)	<u>96.4–111.6</u> 103.3(3)
Р-4	440	316.4	15.7	6.9	Нефтяной, сильный	6.4	<u>6.0–9.0</u> 7.5(3)	<u>54.7–81.3</u> 68.5(3)
У-5	56	35.1	9.5	6.9	Без запаха	13.6	<u>13.3–15.5</u> 14.2(3)	<u>109.3–127.2</u> 116.6(3)
У-6	330	234.4	18.8	7.0	Гнилостный, сероводородный, отчетливый	3.4	<u>9.1–9.3</u> 9.2(3)	<u>84.5–86.0</u> 85.0(3)
С-7	52	38.9	7.5	6.4	Без запаха	2.8	<u>13.1–15.3</u> 14.2(3)	<u>105.4–122.5</u> 113.6(3)
С-8	206	185.6	7.1	7.7	Гнилостный, легкий	2.6	<u>12.7–18.5</u> 15.7(3)	<u>113.8–164.4</u> 140(3)
С-9	111	85.9	6.5	6.9	Без запаха	3.2	<u>10.0–13.8</u> 11.4(3)	<u>81.9–109.4</u> 90(3)
С-10	180	156.9	8.5	6.9	Гнилостный, сероводородный, сильный	2.4	<u>8.8–9.2</u> 9.0(3)	<u>75.2–78.2</u> 76.7(3)

Примечание: УЭП – удельная электропроводимость воды; М – минерализация воды; ВВ – взвешенное вещество; прочерк означает, что величина не определялась; в скобках указано количество опробований.

Минерализация исследуемых вод изменяется в широких пределах и отличается минимальными величинами в верховьях р. Вторая Речка и р. Седанка и экстремально высоким значением в низовьях р. Объяснения (табл. 3), что связано со сбросом в реку морской воды. О присутствии здесь морской воды свидетельствуют и другие показатели макро состава: концентрации Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} и особенно Cl^- , благодаря которым она приобретает не характерный для пресных вод хлоридно-натриевый состав.

Содержание РОУ, как суммарного показателя концентрации растворенных органических веществ, в водах «условно чистых» участков верховьев рек изменялось в интервале от 1.5 до 2.2 мг/л, возрастая в низовьях до 2.8–3.9 мг/л (табл. 3). Эти диапазоны концентраций близки к данным, полученным в межень 2011 г. (декабрь) для рек Объяснения, Первая Речка, Вторая Речка, Черная Речка и Седанка.

Однако следует подчеркнуть, что в декабре 2011 г. в низовье р. Вторая Речка концентрации РОУ в воде были повышены ниже моста по ул. 100-летия Владивостоку и в устье: 4.4 мг/л и 14.9 мг/л соответственно [26]. Данный факт можно объяснить эффектом работы очистных сооружений, введенных в действие в период с 2012 по 2015 г.

Концентрация нитратов в верховьях рек Первая Речка и Вторая Речка сопоставима с их содержанием в воде «условно чистых» участков. В нижних течениях его содержание в 2–6 раза выше. Необходимо отметить, что в верхнем течении р. Объяснения (выше ТЭЦ) концентрация нитратов самая высокая и в 1.5 раза выше, чем в водах низовьев остальных рек. Концентрации нитритов в поверхностных водах незагрязненных рек не превышают сотых долей мг/л [25]. Высокие содержания нитритов отмечены в нижнем течении рек

Первая Речка (1.28 мг/л), Вторая Речка (0.89 мг/л) и Седанка (0.07 мг/л), что подтверждает биогенное загрязнение этих рек. На остальных исследуемых участках рек содержание нитритов ниже 0.01 мг/л.

Об уровнях загрязнения водотоков и интенсивности антропогенного воздействия на них свидетельствуют данные о содержании общего растворенного фосфора (ОРФ). Как видно, они подтверждают отмеченную ранее наибольшую загрязненность низовий трех рек: Вторая Речка, Первая Речка и Черная Речка, а также повышенную – в реке Объяснения (табл. 3). В остальных пунктах отбора диапазон концентраций ОРФ лежит в пределах 2–10 мкг/л. Содержание ОРФ в верховьях рек сопоставимо с данными, приведенными по минеральному фосфору для заповедных рек Хабаровского края [14]. Концентрации фосфора в водах низовий рек г. Владивосток сравнимы с городскими реками г. Хабаровск, опробованными в зимний период [14].

Содержание металлов в изучаемых реках свидетельствует о природных, антропогенных и техногенных факторах, воздействующих на водную среду. Для концентрации растворенных форм металлов (Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cd) (табл. 4) наблюдается та же пространственная зависимость, что и для биогенных элементов – увеличение концентраций от верхних участков к нижним. К природным процессам, обуславливающим поступление соединений железа в поверхностные воды, относятся процессы химического выветривания горных пород [27]. Анализ полученных данных показывает, что содержание растворенного железа в водотоках, относительно слабо преобразованных человеком (низовья рек Седанка и Черная Речка), в 2–4 раза выше по сравнению с реками, дренирующими городскую территорию.

Содержание растворенного марганца в «условно чистых» реках Седанка и Черная Речка не превышает 3 мкг/л. Содержание марганца, возрастающее в восстановительных условиях, прямо связано с концентрацией растворенного кислорода: чем оно ниже (например, низовья р. Первая Речка), тем концентрация марганца выше. Это наблюдение подтверждают также данные для низовий р. Черная Речка (табл. 2, 4).

В остальных точках отбора содержание марганца в 3–10 раз выше по сравнению с «условно чистыми» участками и сопоставимо или выше ПДК для рыбохозяйственных водоемов. Таким образом, выявлено превышение ПДК по Mn в низовьях рек Седанка, Вторая Речка, Черная Речка и Первая Речка на уровне 2 ПДК, 3 ПДК, 10 ПДК и 16 ПДК соответственно. В целом концентрации растворенного железа и марганца в исследованных речных водах сопоставимы с данными, полученными ранее для относительно чистых, а также городских рек Приморья [24, 28, 29].

Таблица 3

Гидрохимические показатели вод изученных рек

Table 3. Chemical features of the waters of the studied rivers

№ участка	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	POУ	Р общ.
	мг/л									
О-1	15.7	1.4	17.9	7.3	31.1	59.9	32.2	22.8	2.2	0.004
О-2	8029	220	645	1156	134.2	5160	39500	–	2.8	0.059
Р-3	7.9	1.2	12.1	3.3	36.0	23.3	13.2	2.0	1.3	0.002
Р-4	23.7	2.9	37.6	7.9	119.1	68.0	44.5	12.7	3.9	0.164
V-5	3.4	0.6	3.4	1.1	11.7	6.9	5.8	2.2	1.3	0.004
V-6	18.2	2.2	29.5	6.9	91.3	38.5	33.7	14.1	3.8	0.291
S-7	3.7	0.3	3.6	1.1	15.1	6.1	6.1	2.9	1.4	0.003
S-8	15.1	1.5	22.6	5.4	80.5	25.4	22.5	12.6	2.3	0.010
С-9	7.2	0.8	10.3	3.1	27.8	10.8	22.7	3.2	1.4	0.004
С-10	11.8	1.3	20.3	4.9	73.7	21.0	17.8	6.1	2.5	0.140

Примечание: прочерк означает, что значение не определялось.

Содержание растворенных форм металлов в водах изученных рек (мкг/л)

Table 4. Concentrations of dissolved forms of metals in the sampling sites of the studied rivers ($\mu\text{g/l}$)

№ участка	Fe	Mn	Zn	Cu	Pb	Cd	Ni
O-1	7.8	8.4	1.2	0.09	0.39	0.14	1.20
O-2	4.6	14.3	3.4	0.92	0.93	0.37	2.98
P-3	5.6	11.5	1.5	0.18	0.35	0.09	1.28
P-4	11.9	165.4	3.6	1.42	1.2	0.42	3.06
V-5	12.5	30.2	2.3	<0.05	0.6	0.17	2.38
V-6	17.7	37.2	11.0	4.16	0.64	0.22	4.96
S-7	11.0	1.6	0.9	0.09	0.06	0.04	0.21
S-8	60.1	24.4	2.1	1.15	0.62	0.16	1.24
C-9	8.0	2.6	0.8	<0.05	0.05	0.04	0.99
C-10	28.9	102.8	1.5	0.55	0.92	0.40	1.11
ПДК [30]	100	10	10	1	6	5	10

Концентрация растворенного цинка в водотоках мало изменчива и невелика (< 10 мкг/л), только в нижнем течении р. Вторая Речка она достигает 11 мкг/л, увеличиваясь в 5 раз относительно верховья. Содержание растворенной меди в верховьях всех рек не превышает 0.1 мкг/л. В низовьях оно повышается на порядок, а в нижнем течении р. Вторая Речка концентрация меди возрастает в 40 раз. Максимальные концентрации цинка и меди в водах низовья р. Вторая Речка превышают ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [30], что свидетельствует о техногенном загрязнении вод реки.

Концентрации никеля, кадмия и свинца, источником которых в пределах городских агломераций являются промышленные предприятия (в том числе машиностроительные, имеющие гальванические участки [28]), в исследуемых реках не достигают ПДК, но выявляют загрязненные участки относительно фоновых. В р. Объяснения и р. Первая Речка концентрации свинца и кадмия повышаются от верховьев к устью в 2–4 раза, для вод р. Седанка и р. Черная Речка они возрастают в 4–10 раз. В водах р. Вторая Речка концентрации этих металлов близки, что, возможно, связано с более плотной застройкой водосбора. Изменение содержания никеля по длине исследуемых рек повторяет картину распределения кадмия и свинца. Максимальным содержанием никеля отличается приустьевой участок р. Вторая Речка (табл. 4). Повышенные содержания кадмия и свинца отмечены в низовьях рек Первая Речка, Объяснения и Черная Речка. Различия в концентрациях рассматриваемых элементов в водотоках свидетельствуют о качественно различном характере техногенного воздействия на эти реки.

Полученные данные о химическом составе основных рек г. Владивосток свидетельствуют об улучшении их геоэкологического состояния по сравнению с периодом 1999–2011 гг. [24, 31], что может быть связано с вводом городских очистных сооружений в 2012–2015 гг. За 10–12 лет в водах р. Вторая Речка произошло снижение концентраций общего растворенного фосфора на порядок, РОУ – в 4 раза, а растворенных форм железа, марганца и цинка – в 2 раза [26, 31]. В р. Объяснения выявлено снижение содержания фосфора, растворенных форм железа и марганца. За этот же период в устье р. Первая Речка отмечено увеличение содержания ряда растворенных веществ.

Заключение

В границах развивающейся Владивостокской агломерации отмечены как крайне загрязненные, так и сравнительно чистые участки рек, что связано с различной степенью (длительностью) хозяйственного преобразования их водосборов. Полученные

данные подтверждают тот факт, что в результате урбанизации речные воды испытывают существенные изменения гидрологических и гидрохимических характеристик.

В реках с наименее освоенными под городскую застройку водосборами модули стока возрастают от верховьев к низовьям в несколько раз (р. Черная Речка). В процессе урбанизации строительство участков с водонепроницаемым покрытием, системы ливневой канализации, бетонных лотков и стенок в руслах водотоков, котлованов и прудов-отстойников и др. изменяет условия стокоформирования в противоположных направлениях – потери стока могут как увеличиваться, так и снижаться. В частности, удельный сток р. Первая Речка от верховьев к устью снижается почти в 10 раз, предположительно, благодаря общему сокращению стокоформирующей площади водосбора. Удельный сток р. Седанка фактически не изменяется за счет регулирующего влияния Пионерского водохранилища. Модуль стока р. Вторая Речка в нижнем пункте наблюдений оказался на порядок выше по сравнению с верхним, что, вероятно, связано с дополнительным боковым притоком коллекторных ливневых вод и стока дождевых вод с участков с водоупорной поверхностью. Нижний участок р. Объяснения превращен в коллектор морских растепленных вод, непрерывно сбрасываемых из системы охлаждения Владивостокской ТЭЦ-2, в связи с чем удельный сток воды в устьевом участке реки более чем в 50 раз превышает таковой для ее верховьев.

От верхних участков рек к нижним наблюдается общее увеличение загрязнения воды. По диапазону изменения температуры воды между верхними и нижними пунктами отбора реки можно распределить в убывающем порядке следующим образом: Объяснения > Вторая Речка > Первая Речка > Черная Речка > Седанка. По насыщенности кислородом наиболее ярко различаются низовья изученных рек. Наименее насыщены им воды рек Первая Речка, Черная Речка и Вторая Речка. Содержание нитритов, фосфора и других биогенных компонентов в низовьях давно освоенных рек (Объяснения, Первая Речка, Вторая Речка) не достигает ПДК, при этом в водах всех рек оно многократно повышается от верховьев к устью. Концентрации металлов во всех пробах соответствуют величинам, установленным ранее для рек Приморского края. Однако выявлено превышение ПДК (для водоемов рыбохозяйственного значения) по Си в низовьях рек Первая Речка и Вторая Речка в 1.5 и 4 раза соответственно. Установлено превышение ПДК по Mn в низовьях рек Седанка, Вторая Речка, Черная Речка и Первая Речка на уровне от 2 до 16 ПДК.

На основании сравнения с данными прошлых лет подтверждается вывод об устойчивом загрязнении вод Первой Речки и Второй Речки, а также о существенной трансформации вод р. Объяснения.

Важно подчеркнуть, что знания о гидрологических процессах на реках п-ова Муравьев-Амурский отрывочны и носят не систематический характер. Необходимы дальнейшие исследования сезонной и многолетней динамики стока, температуры воды, взвешенных и растворенных веществ в водах тестовых (модельных) рек, в различной степени подверженных урбанизации. Необходимы дальнейшие комплексные исследования состояния городских и пригородных речных геосистем для выявления рек, которые наиболее трансформированы и восстановление которых требует стратегического планирования, взвешенных управленческих решений и инвестиций в развитие здоровой городской среды.

Благодарности. Работа выполнена по теме государственного задания «Естественная и антропогенная динамика, трансформация и эволюция разноранговых геосистем и их компонентов в переходной зоне «суша–океан» в условиях возрастания природных и техногенных рисков; разработка методов и геоинформационных технологий их мониторинга и моделирования» (125021302113-3).

Acknowledgments. The work was carried out on the topic of the state assignment “Natural and anthropogenic dynamics, transformation and evolution of different-rank geosystems and their components in the transition zone “land-ocean” in the context of increasing natural and man-made risks; development of methods and geoinformation technologies for their monitoring and modeling” (125021302113-3).

Литература

1. Booth D.B., Roy A.H., Smith B., Capps K.A. Global perspectives on the urban stream syndrome // *Freshwater Science*. 2015. Vol. 35, N 1. P. 412–420.
2. Shahadi T.D. Degradation and Improvement of Urban River Water Quality // *Water Quality – Factors and Impacts*. London: IntechOpen, 2021. P. 1–22. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.Intechopen.com/chapters/77293> (дата обращения: 08.04.2024).
3. Zerega A., Simões N.E., Feio M.J. How to improve the biological quality of urban streams? Reviewing the effect of hydromorphological alterations and rehabilitation measures on benthic invertebrates // *Water*. 2021. Vol. 13, N 2087. P. 1–13.
4. Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Христофорова Н.К., Дроздов К.А., Шапов В.В., Жарикова Е.А., Клышевская С.В., Ковкековдова Л.Т., Юрченко С.Г., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Лупаков С.Ю., Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Проблемы экологического состояния урбанизированных водотоков на территории Владивостокской городской агломерации // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*. 2023. № 10. С. 55–66.
5. Booth D.B. Urbanization and the natural drainage system – impacts, solutions, and prognoses // *Northwest Environmental J*. 1991. N 7. P. 93–118.
6. Meyer J., Paul M., Taulbee W. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes // *J. of the North American Benthological Society*. 2005. N 24. P. 602–612.
7. Kehoe L.J., Lund J., Chalifour L., Asadian Ye., Balke E., Boyd S., Carlson D., Casey J.M., Connors B., Cryer N., Drever M.C., Hinch S.G., Levings C., MacDuffee M., McGregor H., Richardson J., Scott D.C., Stewart D., Vennesland R.G., Wilkinson C.E., Zevit P., Baum J.K., Marti T.G. Conservation in heavily urbanized biodiverse regions requires urgent management action and attention to governance // *Conservation Science and Practice*. 2020. N 3. P. 1–15.
8. Walsh C.J., Roy A.H., Feminella J.W., Cottingham P.D., Groffman P.M., Morgan R.P. The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure // *Journal of the North American Benthological Society*. 2005. N 24. P. 706–723.
9. Беркович К.М., Сидорчук А.Ю. Устойчивость русел рек Европейской России и ее оценка в связи с антропогенными нагрузками на реки и их бассейны // *Проблемы оценки экологической напряженности Европейской территории России: факторы, районирование, последствия*. М.: Изд-во Моск.ун-та, 1996. С. 77–87.
10. Ткачев Б.П., Булатов В.И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Аналитический обзор. Серия Экология. Вып. 64. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН, 2002. 114 с.
11. Моисеенко Т.И., Гашкина Н.А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. М.: Наука, 2010. 268 с.
12. Усманова Л.И. Характеристика химического состава речных вод на территории и в окрестностях города Читы // *Успехи современного естествознания*. 2018. № 7. С. 200–208.
13. Сабылина А.В., Ефремова Т.А., Икко О.И. Химический состав поверхностных сточных и речных вод, поступающих с территории города Петрозаводска в Онежское озеро // *Известия РГО*. 2022. № 4. С. 39–53.
14. Шестеркин В.П., Афанасьева М.И., Шестеркина Н.М. Особенности качества воды малых рек Хабаровска в зимний период // *Геозология. Инженерная геология, гидрогеология, геоэкология*. 2019. № 3. С. 42–51.
15. Шестеркин В.П., Синькова И.С., Шестеркина Н.М. Солевой состав вод малых рек центральной части Хабаровска в период весеннего половодья // *Региональные проблемы*. 2022. Т. 25, № 3. С. 60–62.
16. Ксенофонтова М.И., Легостаева Я.Б., Ябловская П.Е., Трофимова Л.Н. Характеристика химического состава вод и донных отложений крупных водоемов г. Якутска // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*. 2013. № 4. С. 493–500.
17. Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Клышевская С.В., Дроздов К.А., Жарикова Е.А. Проблемы загрязнения водотоков урбанизированных территорий и пути их решения на примере реки Вторая Речка (Владивосток, Приморский край) // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*. 2021. № 9. С. 43–59.
18. Жарикова Е.А., Клышевская С.В., Попова А.Д., Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Иваненко Н.В. Экологическое состояние вод, донных осадков и почв долины р. Вторая Речка (по химическим и микробиологическим показателям) // *Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова*. 2021. № 9. С. 71–76.
19. Тащи С.М., Мясников Е.А. Геолого-геоморфологические системы территории агломерации Владивосток–Артем: учеб. пособие. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2003. 181 с.
20. Chelation / Solvent Extraction System for the determination of Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn in natural waters. Applied Geochemistry Research Group. Technical Communication. L.: Imperial College of Science and Technology, 1975. Vol. 62. P. 1–24.
21. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2004. 36 с.
22. Гарцман Б.И. Дождевые паводки на реках юга Дальнего Востока: методы расчетов, прогнозов, оценок риска. Владивосток: Дальнаука, 2008. 223 с.
23. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Трансформация гидрологического и термического режимов р. Объяснения и бухты Золотой Рог в результате сброса морской воды с Владивостокской ТЭЦ-2 // *Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление*. 2023. № 5. С. 54–70.
24. Чудаева В.А., Чудаев О.В. Особенности химического состава воды и взвесей рек Приморья (Дальний Восток России) // *Тихоокеанская геология*. 2011. Т. 30, № 2. С. 102–119.

25. Алевкин О.А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеорологическое изд-во, 1953. 296 с.
26. Луценко Т.Н. Вынос органического углерода в прибрежные воды полуострова Муравьева-Амурского // Устойчивое природопользование в прибрежно-морских зонах. 2013. С. 286–289.
27. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеоздат, 1986. 272 с.
28. Шулькин В.М., Богданова Н.Н., Киселев В.И. Металлы в речных водах Приморского края // Геохимия. 2007. № 1. С. 79–88.
29. Кожевникова Н.К., Болдескул А.Г., Луценко Т.Н., Шамов В.В., Еловский Е.В., Касуров Д.А. Микроэлементы в речных водах горно-лесных бассейнов (Юг Дальнего Востока России) // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2022. Т. 333, № 6. С. 190–205.
30. Приказ Минсельхоза России от 13.12.2016 N 552 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/420389120?ysclid=lvq2vx7kd1823773583> (дата обращения: 10.03.2024).
31. Юрченко С.Г. Миграция химических элементов в водных объектах с различной антропогенной нагрузкой: юг Дальнего Востока России: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток, 2004. 22 с.

References

1. Booth, D.B.; Roy, A.H.; Smith, B.; Capps, K.A. Global perspectives on the urban stream syndrome. *Freshwater Science*. 2015, 35 (1), 412–420.
2. Shahadi, T.D. Degradation and improvement of urban river water quality. In *Water Quality – Factors and Impacts*; IntechOpen: London, UK, 2021, 1–22. Available online: <https://www.intechopen.com/chapters/77293> (accessed on 08.04.2024).
3. Zerega, A.; Simões, N.E.; Feio, M.J. How to improve the biological quality of urban streams? Reviewing the effect of hydromorphological alterations and rehabilitation measures on benthic invertebrates. *Water*. 2021, 13(2087), 1–13.
4. Vshivkova, T.S.; Nikulina, T.V.; Khristoforova, N.K.; Drozdov, K.A.; Shamov, V.V.; Zharikova, E.A.; Klyshevskaya, S.V.; Kovekovdova, L.T.; Yurchenko, S.G.; Boldeskul, A.G.; Lutzenko, T.N.; Lupakov, S.Yu.; Bortin, N.N.; Gorchakov, A.M. In *Problems of the ecological state of urbanized streams in the territory of the Vladivostok city agglomeration*. Proceedings of the V.Ya. Lavanidov's Memorial Meetings. 2023, 10, 55–66. (In Russian)
5. Booth, D.B. Urbanization and the natural drainage system—impacts, solutions, and prognoses. *Northwest Environmental Journal*. 1991, 7, 93–118.
6. Meyer, J.; Paul, M.; Taulbee, W. Stream ecosystem function in urbanizing landscapes. *Journal of the North American Benthological Society*. 2005, 24, 602–612.
7. Kehoe, L.J.; Lund, J.; Chalifour, L.; Asadian, Ye.; Balke, E.; Boyd, S.; Carlson, D.; Casey, J.M.; Connors, B.; Cryer, N.; Drever, M.C.; Hinch, S.G.; Levings, C.; MacDuffee, M.; McGregor, H.; Richardson, J.; Scott, D.C.; Stewart, D.; Vennesland, R.G.; Wilkinson, C.E.; Zevit, P.; Baum, J.K.; Marti, T.G. Conservation in heavily urbanized biodiverse regions requires urgent management action and attention to governance. *Conservation Science and Practice*. 2020, 1–15.
8. Walsh, C.J.; Roy, A.H.; Feminella, J.W.; Cottingham, P.D.; Groffman, P.M.; Morgan, R.P. The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure. *Journal of the North American Benthological Society*. 2005, 24, 706–723.
9. Berkovich, K.M.; Sidorchuk, A.Yu. Stability of river channels of European Russia and its assessment in connection with anthropogenic impacts on rivers and their basins. In *Problems of environmental tension assessment of the European Territory of Russia: factors, zoning, consequences*. MGU: Moscow, Russia, 1996, 77–88. (In Russian)
10. Tkachev, B.P.; Bulatov, V.I. Small rivers: current state and environmental problems. Analytical review. Series Ecology, 64. SPSTL SB RAS: Novosibirsk, Russia, 2002; 114 p. (In Russian)
11. Moiseenko, T.I.; Gashkina, N.A. Formation of chemical composition of lakes under conditions of environmental change. Nauka: Moscow, Russia, 2010; 268 p. (In Russian)
12. Usmanova, L.I. Characteristics of the chemical composition of river waters in and around the city of Chita. *Successes of modern natural science*. 2018, 7, 200–208. (In Russian)
13. Sabylina, A.V.; Efremova, T.A.; Ikko, O.I. Chemical composition of surface drainage and river waters coming from the area of the Petrozavodsk city to the Onego lake. *Proceedings of the Russian Geographical Society*. 2022, 4, 39–53. (In Russian)
14. Shesterkin, V.P.; Afanas'eva, M.I.; Shesterkina, N.M. Features of the water quality in small rivers of Khabarovsk in winter season. *Geoekologiya. Inzheneraya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*. 2019, 3, 42–51. (In Russian)
15. Shesterkin, V.P.; Sinkova, I.S.; Shesterkina, N.M. Salt composition in waters of the Khabarovsk central part small rivers during spring flood. *Regional problems*. 2022, 25 (3), 60–62. (In Russian)
16. Ksenofontova, M.I.; Legocnaeva, Ya.B.; Yablovskaia, P.E.; Trofimova, L.M. Characteristics of the chemical composition of waters and bottom sediments of large reservoirs in Yakutsk. *Current problems of the human and natural sciences*. 2013, 4, 493–500. (In Russian)

17. Vshivkova, T.S.; Nikulina, T.V.; Klyshevskaya, S.V.; Drozdov, K.A.; Zharikova, E.A. Problems of stream pollution located in urbanized territories and ways of solution on the Vtoraya Rechka River example (Vladivostok, Primorye Territory). In *Proceedings of the Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*; FSCBEA FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 43–59. (In Russian)
18. Zharikova, E.A.; Klyshevskaya, S.V.; Popova, A.D.; Vshivkova, T.S.; Nikulina, T.V.; Ivanenko, N. Vol. Ecological state of the waters, bottom sediments and soils of the river valley the Vtoraya Rechka River (according to chemical and microbiological indicators). In *Proceedings of the Vladimir Ya. Levanidov's Biennial Memorial Meetings*. FSCBEA FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2021, 71–76. (In Russian)
19. Tashchi, S.M.; Myasnikov, E.A. Geological-geomorphological systems of Vladivostok–Artem agglomeration territory. FESTU publishers: Vladivostok, Russia, 2003; 181 p. (In Russian)
20. Chelation / Solvent Extraction System for the determination of Cd, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn in natural waters. In *Applied Geochemistry Research Group. Technical Communication, 62*. Imperial College of Science and Technology: London, UK, 1975, 1–24.
21. Construction requirements 33-101-2003. Calculation of basic hydrological characteristics. Moscow, 2004; 36 p. (In Russian)
22. Gartsman, B.I. Rain floods on rivers methods of calculation, forecasts, and risk assessments. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2008; 223 p. (In Russian)
23. Bortin, N.N.; Gorchakov, A.M. Transformation of the hydrological and thermal regimes of the Obyasneniya River and the Zolotoy Rog Bay resulted from seawater discharge from the Vladivostok CHPP-2. *Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management*. 2023, 5, 54–70. (In Russian)
24. Chudaeva, V.A.; Chudaev, O. Vol. Specific features of chemical composition of the water and suspended matter of the Primorye rivers (Far East Russia). *Russian Journal of Pacific Geology*, 2011, 30 (2), 102–119. (In Russian)
25. Alyokin, O.A. Basics of hydrochemistry. Hydrometeoizdat: Leningrad, Russia, 1953; 296 p. (In Russian)
26. Lutsenko, T.N. Flow of organic carbon into the coastal waters of the Muravyov-Amursky Peninsula. In *Sustainable nature management in coastal-marine zones*. Dalnauka: Vladivostok, Russia, 2013, 286–289. (In Russian)
27. Linnik, P.N.; Nabivanets, B.I. Forms of metals migration in fresh surface water. Hydrometeoizdat: Leningrad, Russia, 1986; 272 p. (In Russian)
28. Shulkin, V.M.; Bogdanova, N.N.; Kiselev, V.I. Metals in the river waters of Primorye. *Geochemistry International*. 2007, 45 (1), 70–79.
29. Kozhevnikova, N.K.; Boldeskul, A.G.; Lutsenko, T.N.; Shamov, V.V.; Elovskiy, E.V.; Kasurov, D.A. Microelements in river water of mountain-forest basins (Southern Russian Far East). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*. 2022, 333 (6), 190–205. (In Russian)
30. Order of the Ministry of Agriculture of Russia. December 13, 2016, No 552 “On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery importance”. Available online: <https://docs.cntd.ru/document/420389120?ysclid=lvq2vx7kd1823773583> (accessed on 10.03.2024). (In Russian)
31. Yurchenko, S.G. Migration of chemical elements in water bodies with different anthropogenic load: south of the Far East of Russia. Synopsis of Thesis Deg. Cand. Geogr. Sci. Pacific Geographical Institute FEB RAS: Vladivostok, Russia, 2004; 22 p. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 22.11.2024; принята к публикации 9.12.2024.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 22.11.2024; accepted for publication 9.12.2024.

