УДК 504.4:574.5(265.5) DOI: 10.5281/zenodo.20799722 EDN: FSTGNR

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВЗВЕШЕННЫХ ВЕЩЕСТВ В ПРИБРЕЖНЫХ ВОДАХ ЮГА КАМЧАТКИ В ГРАДИЕНТЕ УРБАНИЗАЦИИ ПОБЕРЕЖЬЯ

© 2026. ***К. М. Зарипова, Е. А. Тихонова***

В августе 2025 года на 50 станциях в прибрежных акваториях южной Камчатки проведены исследования содержания взвешенных веществ в районах с разной степенью урбанизации. Пробы отбирали из поверхностного горизонта батометром, фильтровали через мембранные фильтры (0,45 мкм). Выделены три зоны: городская (менее 10 км от крупных городов), пригородная (10–30 км от городов или менее 5 км от посёлков) и фоновая (более 30 км от населённых пунктов). Установлены статистически значимые различия между зонами. Медианное содержание взвеси в городской зоне (5,58 мг/л) в 3,8 раза превышает фоновые значения (1,48 мг/л). Максимум (31,10 мг/л) зафиксирован в Авачинской губе – более чем в три раза выше рыбохозяйственного норматива (10,0 мг/дм³). Для оценки влияния урбанизации применён индекс, учитывающий размер ближайшего населённого пункта и удалённость от него. Построена экспоненциальная регрессионная модель ($R^2 = 0,65$; $p < 0,001$), объясняющая 65 % вариации содержания взвешенных веществ.

Ключевые слова: урбанизация побережья, взвешенные вещества, прибрежные акватории, полуостров Камчатка, антропогенное воздействие, Охотское море, Тихий океан.

Введение. Урбанизация прибрежных зон является одним из наиболее значимых антропогенных факторов, трансформирующих морские экосистемы: около 40 % населения мира проживает в пределах 100 км от побережья [1], при этом в прибрежных зонах Земли сосредоточено 90 % морского биоразнообразия, что делает их особенно уязвимыми к антропогенному прессу. Наряду с возрастающей урбанизацией прибрежных районов [2, 3], усиливается нагрузка на водные объекты за счет интенсификации хозяйственной деятельности, расширения портовой инфраструктуры, точечного и диффузного сброса сточных вод, а также трансформации береговой линии, что может приводить к ухудшению гидроморфологических и химических характеристик водных объектов, деградации природных фильтров и снижению способности экосистем к саморегуляции.

Рост городов, сопровождающийся увеличением площади непроницаемых покрытий (асфальт, бетон, кровля), коренным образом изменяет естественные пути переноса вещества. Городское развитие значительно трансформировало естественный гидрологический цикл: непроницаемые покрытия запечатывают грунт, мешают инфильтрации воды и могут увеличивать объем и скорость поверхностного стока [4, 5]. С одной стороны, это способствует более интенсивному смыву загрязняющих веществ и частиц почвы в водоемы. С другой стороны, сам источник поступления взвешенного материала может трансформироваться: изоляция осадочных пород в ряде случаев приводит к сокращению их естественного разрушения и, как следствие, к снижению поступления взвеси с урбанизированных водосборов [1].

Изменения гидрологии, геоморфологии и экологии городских водотоков, возникающие вследствие изоляции почв и создания дренажных систем, подробно описаны в классических и современных работах [6–9]. Повышенные уровни взвешенных веществ и загрязнителей в бассейнах стока стали серьезной проблемой для управления городскими водосборами; для обозначения деградации городских

водотоков был введен специальный термин «синдром городской реки» (urban stream syndrome) [9, 10].

Урбанизация побережья может сопровождаться различными изменениями качества воды в прибрежных зонах, включая повышение электропроводности, концентрации биогенов и бактерий [11]. Особое значение в этом контексте имеют взвешенные вещества, которые переносят широкий спектр поллютантов, в том числе тяжелые металлы, биогенные элементы, нефтяные углеводороды и микроорганизмы, и влияют на прозрачность воды, продуктивность фитопланктона и состояние бентосных сообществ [12]. Данная роль делает содержание взвешенных веществ в прибрежных акваториях чувствительным маркером антропогенного воздействия. При этом зоны с повышенными концентрациями взвеси могут образовывать отчетливые «линзы», пространственно приуроченные к конкретным источникам, таким как порты, судоходные пути и терминалы [13].

Исследования на реках урбанизированных территорий России также показывают, что поступление взвеси с городских территорий в водотоки является одним из основных путей распространения загрязнителей. Их вынос может многократно превышать поступление из природных ландшафтов, особенно за счет площадного смыва с селитебных территорий, дорог и неорганизованного стока ливневых вод [14].

Анализ спутниковых данных за 2000–2023 гг. показал, что урбанизация и связанное с ней расширение площади непроницаемых поверхностей являются одними из главных факторов изменения мутности прибрежных вод по всему миру [1]. Примечательно, что Россия входила в 20 ведущих стран по доле прибрежных вод (в пределах 100 км от берега), в которых среднегодовое содержание взвешенных веществ превышало 10 мг/л. В [1] также отмечается, что нелинейные взаимосвязи между гидродинамическими сдвигами, вызванными изменением климата, и антропогенным воздействием формируют сложные и пространственно неоднородные схемы переноса вещества между сушей и морем. В одних районах наблюдается истощение запасов осадочного материала, в других фиксируется локальное накопление или усиление ресуспензии донных осадков.

Полуостров Камчатка относится к регионам с высоким биоразнообразием, однако его прибрежные экосистемы испытывают возрастающую антропогенную нагрузку от немногочисленных, но крупных урбанизированных центров: Петропавловска-Камчатского, Елизово и Вилючинска [15, 16].

Целью данной работы является выявление связи между уровнем урбанизации побережья и содержанием взвешенных веществ в прибрежных водах южной Камчатки на основе данных, полученных в ходе экспедиционных исследований в августе 2025 года.

Материалы и методы. Пробы взвешенных веществ были отобраны в августе 2025 года в рейсе ПС «Профессор Мультановский» в акваториях Северо-Западной Пацифики и юго-восточной части Охотского моря на 50 станциях (рис. 1). Для определения содержания взвешенных веществ в воде пробы воды из поверхностного горизонта отбирали при помощи розетты с батометрами. В объеме 1 л фильтровали на установке для вакуумной фильтрации с применением вакуумного насоса, фильтровальной установки и колбы Бунзена. Для отделения взвеси использовались нитроцеллюлозные мембранные фильтры с ячеей 0,45 мкм с заранее известными массами. После фильтрации фильтры высушивали при комнатной температуре, хранили в эксикаторе и для транспортировки в лабораторию герметично упаковывали в зип-пакеты в соответствии с РД 52.24.468-2019.

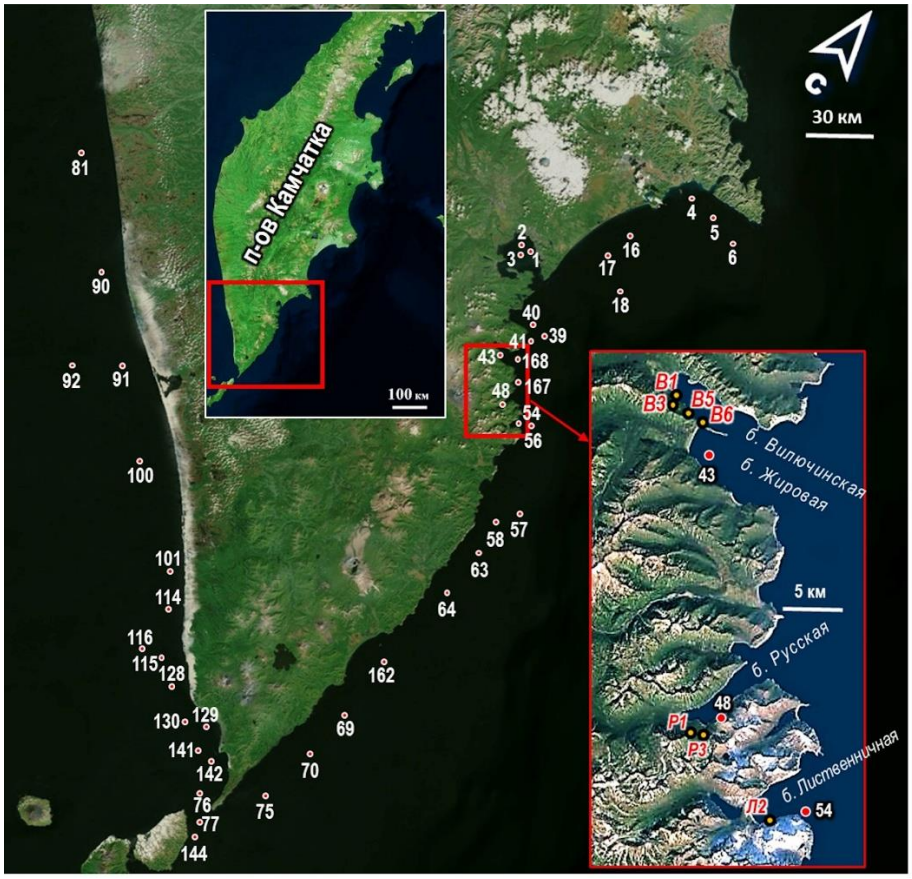

Рис. 1. Картосхема станций отбора проб взвешенных веществ в морской воде в прибрежных акваториях полуострова Камчатка.

Для оценки влияния урбанизации побережья на пространственное распределение взвешенных веществ все 50 станций были разделены на три группы: городская, пригородная и фоновая зоны. К городской зоне отнесены станции (1, 2, 3, 39, 40, 41, 43, В1, В3, В5, В6, 48, Р1, Р3), расположенные менее чем в 10 км от крупных городов (Петропавловск-Камчатский, Елизово, Вилючинск). Пригородная зона включает станции (4, 5, 6, 16, 17, 18, 54, Л2, 56, 90, 91, 167, 168), находящиеся на расстоянии 10–30 км от крупных городов или менее 5 км от посёлков. Фоновую зону составили станции (57, 58, 63, 64, 69, 70, 75, 76, 77, 81, 92, 100, 101, 114, 115, 116, 128, 129, 130, 141, 142, 144, 162), удалённые более чем на 30 км от любых населённых пунктов.

Для количественной оценки влияния прибрежных населённых пунктов на содержание взвешенных веществ в морской воде был применён индекс урбанизации. Данный показатель учитывает размер ближайшего населённого пункта (через численность населения) и удалённость от него. Индекс вычислялся по формуле:

$$I = ln(P / D),$$

где P – численность населения ближайшего населённого пункта (тыс. чел.), D – расстояние до него (км). Использование натурального логарифма позволило стабилизировать дисперсию и привести распределение расчётных значений к виду, удобному для последующего регрессионного анализа. Согласно [17], использование подобных индексов широко распространено при изучении влияния урбанизации побережья на состояние прибрежных экосистем. Численность населения при этом является одним из наиболее часто учитываемых показателей. Подход, сочетающий учёт

размера поселения и расстояния до него, был реализован, в частности, в работах [18] и [19] при оценке качества вод в Великих озёрах и в прибрежной зоне Китая соответственно.

Статистическую обработку данных проводили с использованием пакета Microsoft Excel. Для оценки нормальности распределения выборок содержания взвешенных веществ в выделенных зонах применяли критерий Шапиро–Уилка. Поскольку распределение во всех группах статистически значимо отличалось от нормального ($p < 0,05$), для сравнения трёх независимых групп использовали непараметрический ранговый критерий Краскала–Уоллиса. При обнаружении статистически значимых различий между группами ($p < 0,05$) последующие попарные сравнения выполняли с помощью критерия Данна с поправкой Бонферрони для контроля множественных сравнений. Выбор критерия Данна обусловлен тем, что он адаптирован для непараметрического дисперсионного анализа и корректно работает при различных объёмах сравниваемых групп. Поправка Бонферрони применена для контроля ошибки I рода при множественных сравнениях. Для оценки силы и направления связи между содержанием взвешенных веществ и индексом урбанизации рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона после логарифмического преобразования зависимой переменной.

Результаты и обсуждение. Содержание взвешенных веществ в воде в исследованном районе колеблется в широких пределах (рис. 2). Для оценки влияния урбанизации побережья на пространственное распределение взвешенных веществ в поверхностном водном горизонте прибрежных акваторий южной части полуострова 50 станций были разделены на три группы в соответствии с градиентом антропогенной нагрузки: городская (n=14), пригородная (n=13) и фоновая (n=23) зоны. Критериями для выделения зон послужили удаленность от населенных пунктов и их площадь. Результаты сравнения содержания взвешенных веществ в поверхностном водном горизонте выделенных зон представлены на рис. 3.

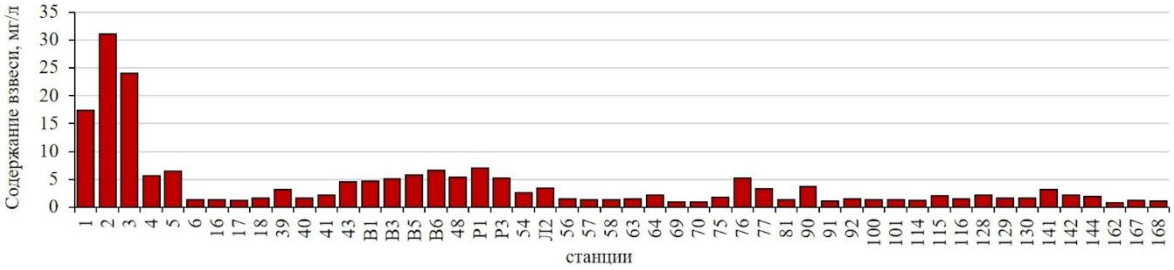

Рис. 2. Содержания взвешенных веществ (мг/л) в поверхностном горизонте прибрежных акваторий южной Камчатки.

Наибольшие уровни содержания и максимальный разброс значений наблюдаются в городской зоне. Медиана содержания здесь составляет 5,58 мг/л. Максимальное значение в этой группе достигает 31,10 мг/л (станция 2 в Авачинской губе), что превышает установленный для рыбохозяйственных водных объектов норматив (10,0 мг/дм³) [20] более чем в три раза Высокая вариабельность показателей в городской зоне, по-видимому, связана с неравномерным поступлением загрязненных поверхностных и ливневых стоков, а также с локальными условиями водообмена в отдельных бухтах. Согласно [21], ежегодный сброс сточных вод в Авачинскую губу составляет почти 15 млн м³ через 49 выпусков (без учета еще 20 бесхозяйных выпусков). В г. Петропавловске-Камчатском проходят очистку порядка 20 % сточных вод (на 7 очистных сооружениях), в г. Вилючинске – на одном сооружении, в Елизовском районе – также на одном. Очистка ливневых стоков отсутствует.

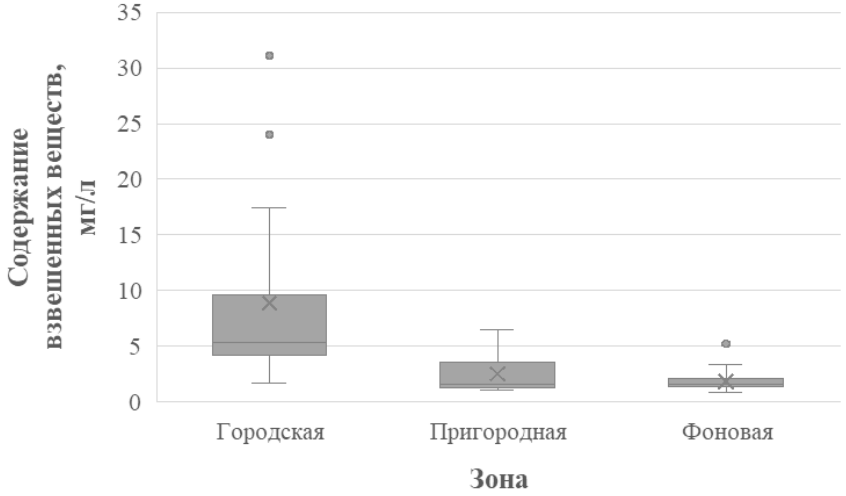

Рис. 3. Сравнение содержания взвешенных веществ (мг/л) в морской воде прибрежных акваторий южной Камчатки в зонах с разным уровнем урбанизации побережья.

Отметим, что общее содержание взвешенных веществ в воде было отмечено среди показателей, указывающих на долгосрочную тенденцию к ухудшению качества воды в связи с урбанизацией водосборного бассейна [22].

В пригородной зоне содержание взвешенных веществ снижается. Медиана здесь составляет 1,65 мг/л, а разброс значений существенно меньше, чем в городской зоне.

Фоновая зона, удаленная от населенных пунктов более чем на 30 км, характеризуется минимальными и наиболее стабильными содержаниями взвеси. Медианное значение составляет 1,48 мг/л, при этом 75 % проб содержат менее 2,1 мг/л.

Отметим, что медианное содержание взвеси в городской зоне в 3,4 раза превышает показатель пригородной зоны и в 3,8 раза – фоновой. Средние значения составляют соответственно: 9,82, 2,99 и 1,73 мг/л.

Статистическая значимость различий между выделенными группами подтверждена с использованием непараметрического критерия Краскала–Уоллиса ($H = 32{,}4$; $p < 0{,}0001$). Выбор непараметрического метода обусловлен тем, что распределение данных отличалось от нормального по критерию Шапиро–Уилка ($p < 0{,}05$). Последующие попарные сравнения по критерию Данна с поправкой Бонферрони выявили статистически значимые различия между всеми парами групп: город–пригород ($p < 0{,}001$), город–фон ($p < 0{,}001$) и пригород–фон ($p < 0{,}01$).

Зависимость содержания взвешенных веществ от рассчитанного индекса урбанизации представлена на рис. 3. На рисунке прослеживается положительная зависимость между исследуемыми параметрами: с ростом значения I наблюдается тенденция к увеличению содержания взвешенных веществ.

Подбор различных регрессионных моделей показал, что наилучшей аппроксимацией обладает экспоненциальная функция (рис. 3). Все параметры модели статистически значимы ($p < 0{,}001$). Коэффициент детерминации $R^2 = 0{,}65$ свидетельствует о том, что построенная модель объясняет 65 % наблюдаемой вариации содержания взвешенных веществ. Дополнительно рассчитанный коэффициент корреляции Пирсона между логарифмом значений содержания взвешенных веществ и индексом урбанизации составил $r = 0{,}81$ ($p < 0{,}001$), что указывает на сильную линейную связь между этими преобразованными переменными. В [23] также выявили значимые корреляции ($r > 0{,}5$; $p < 0{,}05$) между комбинированными индексами урбанизации водосборных территорий и содержанием взвешенных веществ в воде при анализе 30-летних рядов данных на 16 водосборах Гонконга.

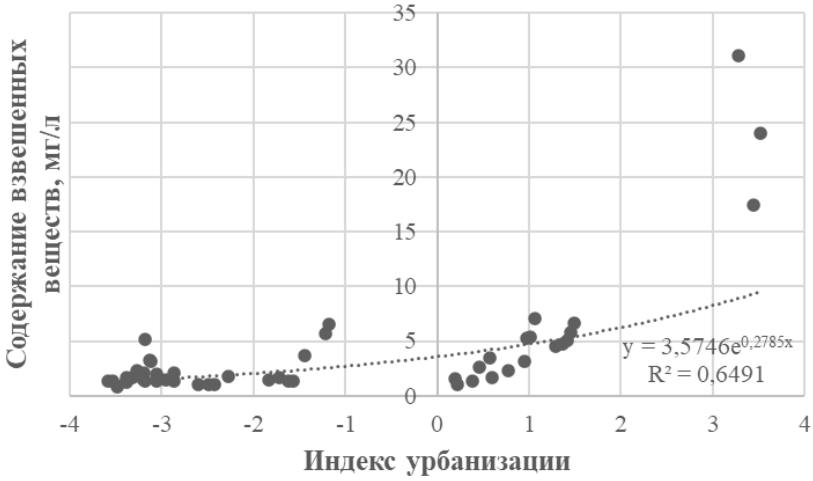

Рис. 3. Зависимость содержания взвешенных веществ в поверхностном горизонте прибрежных акваторий юга полуострова Камчатка от интегрального индекса урбанизации (*I*).

Оставшиеся 35 % дисперсии, не объясненные моделью, связаны с природными факторами, не учтенными в анализе, включая вынос взвеси речным стоком, штормовое взмучивание, локальные гидродинамические условия. Учет этих факторов требует дополнительных исследований с привлечением данных по сезонной динамике стока и гидрометеорологическим условиям.

Заключение. В ходе исследования установлено, что урбанизация побережья является значимым фактором, определяющим пространственное распределение взвешенных веществ в прибрежных акваториях юга полуострова Камчатка. Статистический анализ выявил градиент «город–пригород–фон»: медианное содержание взвеси в городской зоне (5,58 мг/л) в 3,8 раза превышает фоновые значения (1,48 мг/л), а различия между всеми выделенными зонами были статистически значимы. Полученная регрессионная модель, учитывающая индекс урбанизации, объясняет 65 % вариации содержания взвешенных веществ в поверхностном водном горизонте прибрежных акваторий юга полуострова Камчатка и указывает на нелинейный, ускоряющийся характер влияния урбанизации по мере приближения к крупным населенным пунктам.

Отбор проб проводился в рейсе ПС «Профессор Мультановский» в рамках «Тихоокеанского Плавучего университета» (проекты № 075-03-2025-662/8 и № 075-03-2025-421/5); определение содержания взвеси и анализ полученных результатов - гос. задания ФИЦ ИнБЮМ «Изучение биогеохимических закономерностей радиоэкологических и хемоэкологических процессов в экосистемах водоемов Азово-Черноморского бассейна в сравнении с другими акваториями Мирового океана и отдельными водными экосистемами их водосборных бассейнов для обеспечения устойчивого развития на южных морях России» (№ гос. регистрации 124030100127-7).

PECULIARITIES OF SUSPENDED MATTER DISTRIBUTION IN THE COASTAL WATERS OF SOUTHERN KAMCHATKA ALONG THE COASTAL URBANIZATION GRADIENT

K. M. Zaripova, E. A.Tikhonova

In August 2025, studies of suspended matter content were conducted at 50 stations in the coastal waters of southern Kamchatka, in areas with different degrees of coastal urbanization. Water samples were taken from the surface layer using a bathometer and filtered through membrane filters (0.45 µm pore diameter). Three zones

were identified: urban (less than 10 km from large cities), suburban (10–30 km from cities or less than 5 km from towns), and background (more than 30 km from settlements). Statistically significant differences between the zones were established. The median suspended matter content in the urban zone (5.58 mg/L) is 3.8 times higher than background values (1.48 mg/L). The maximum concentration (31.10 mg/L) was recorded in Avacha Bay – more than three times above the fisheries standard (10.0 mg/dm³). To assess the impact of urbanization, an index was applied that takes into account the size of the nearest settlement and the distance from it. An exponential regression model was obtained ($R^2 = 0.65$; $p < 0.001$), explaining 65% of the variation in suspended matter content.

Keywords: coastal urbanization, suspended particulate matter, coastal waters, Kamchatka Peninsula, anthropogenic impact, Sea of Okhotsk, Pacific Ocean.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Yan F., He B., Lyne V. et al. Global coastal water clarity has increased due to human intervention // Communications Earth & Environment. – 2025. – Vol. 6. – P. 641. – DOI: 10.1038/s43247-025-02638-x.
2. Nicholls R.J. et al. A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure // Nature Climate Change. – 2021. – Vol. 11. – P. 338–342.
3. Lansu E.M. et al. A global analysis of how human infrastructure squeezes sandy coasts // Nature Communications. – 2024. – Vol. 15. – P. 1–7.
4. Motlagh A. Urban Stormwater and Groundwater Quality: Pathways, Risks, and Green Infrastructure Solutions // Environments. – 2025. – Vol. 12, No. 11. – P. 446.
5. Alhasaani Z.S., Abdulameer L., Nile B.K. Urban land use change and sewer system resilience: a comprehensive review // Innovative Infrastructure Solutions. – 2025. – Vol. 10. – P. 545. – DOI: 10.1007/s41062-025-02360-9.
6. Leopold L.B. Hydrology for Urban Land Planning: A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use. – US Geological Survey, 1968. – Circular 554. – DOI: 10.3133/cir554.
7. Paul M.J., Meyer J.L. Streams in the Urban Landscape // Annual Review of Ecology and Systematics. – 2001. – Vol. 32, No. 1. – P. 333–365. – DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040.
8. Bhaskar A.S., Beesley L., Burns M.J., Fletcher T.D., Hamel P., Oldham C.E., Roy A.H. Will It Rise or Will It Fall? Managing the Complex Effects of Urbanization on Base Flow // Freshwater Science. – 2016. – Vol. 35, No. 1. – P. 293–310. – DOI: 10.1086/685084.
9. Safdar S., Jefferson A.J., Costello D.M., Blinn A. Urbanization and Suspended Sediment Transport Dynamics: A Comparative Study of Watersheds with Varying Degree of Urbanization Using Concentration-Discharge Hysteresis // ACS ES&T Water. – 2024. – Vol. 4, No. 9. – P. 3904–3917. – DOI: 10.1021/acsestwater.4c00214.
10. 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. – Vol. 24, No. 3. – P. 706–723. – DOI: 10.1899/04-028.1.
11. Nagy R.C., Lockaby B.G., Kalin L., Anderson C. Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast // Hydrological Processes. – 2012. – Vol. 26, No. 13. – P. 2019–2030. – DOI: 10.1002/hyp.8336.
12. Linders T. et al. Particle sources and transport in stratified Nordic coastal seas in the Anthropocene // Elementa: Science of the Anthropocene. – 2018. – Vol. 6. – P. 29. – DOI: 10.1525/elementa.149.
13. Lomakin P.D., Chepyzhenko A.A., Chepyzhenko A.I. Colored Dissolved Organic Matter and Total Suspended Matter as the Indicators of Water Pollution in the Kerch Strait // Physical Oceanography. – 2025. – No. 4. – P. 492–507. – URL: https://mhi-ras.editorum.ru/en/nauka/article/106277/view (дата обращения: 05.03.2026).
14. Курочкина В.А., Богомолова Т.Г., Киров Б.Л. Антропогенная нагрузка на реки урбанизированных территорий // Вестник МГСУ. – 2016. – № 8. – С. 100–109.
15. Зарипова К.М., Тихонова Е.А. Распределение взвешенных веществ в прибрежных акваториях полуострова Камчатка // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2025. – № 71. – С. 108–119. – DOI: 10.17217/2079-0333-2025-71-108-119.
16. Кириченко В.Е., Чернягина О.А. Интегральная карта антропогенного воздействия на природные комплексы Камчатки // Дальневосточная региональная конференция, посвященная памяти А.П. Васьковского (95-летие), Магадан, 28-29 ноября 2006 г. – URL: https://terrakamchatka.ru/file/archive/maprus.htm
17. Marlow B.N., Griffen B.D. Urbanization indices development and use in the coastal ecological realm: a review // Frontiers in Ecology and Evolution. – 2025. – Vol. 13. – P. 1607614. – DOI: 10.3389/fevo.2025.1607614.

18. Howell E.T., Chomicki K.M., Kaltenecker G. Patterns in water quality on Canadian shores of Lake Ontario: Correspondence with proximity to land and level of urbanization // Journal of Great Lakes Research. – 2012. – Vol. 38. – P. 32–46.
19. Fan X., Li L., Yuan Y. et al. Urbanization and water quality dynamics and their spatial correlation in coastal margins of mainland China // Ecological Indicators. – 2022. – Vol. 138. – P. 108812. – DOI: 10.1016/j.ecolind.2022.108812.
20. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 26 мая 2025 г. № 296 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций загрязняющих веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» // КонсультантПлюс. – URL: https://www.consultant.ru (дата обращения: 16.12.2025).
21. Доклад о состоянии окружающей среды в Камчатском крае в 2024 году / Министерство природных ресурсов и экологии Камчатского края. – Петропавловск-Камчатский, 2025. – 397 с.
22. Gomes P.I.A., Wai O.W.H. Investigation of Long-Term River Water Quality Trends in Hong Kong to Identify Role of Urbanization, Seasons and Pollution Sources // Water Air Soil Pollut. – 2020. – Vol. 231. – P. 378. – DOI: 10.1007/s11270-020-04753-1.
23. Gomes P.I.A., Karunatilaka P.D. Investigation of long-term river water quality variations using different urbanization indices and assessment of common scientific perspectives of urbanization on water quality // Environmental Quality Management. – 2023. – Vol. 32, No. 3. – P. 239–249. – DOI: 10.1002/tqem.21900.

REFERENCES

1. Yan, F., He, B., Lyne, V., et al. (2025). Global coastal water clarity has increased due to human intervention. *Communications Earth & Environment*, 6, 641. DOI: 10.1038/s43247-025-02638-x.
2. Nicholls, R. J., et al. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11, 338–342.
3. Lansu, E. M., et al. (2024). A global analysis of how human infrastructure squeezes sandy coasts. *Nature Communications*, 15, 1–7.
4. Motlagh, A. (2025). Urban Stormwater and Groundwater Quality: Pathways, Risks, and Green Infrastructure Solutions. *Environments*, 12(11), 446.
5. Alhasaani, Z. S., Abdulameer, L., & Nile, B. K. (2025). Urban land use change and sewer system resilience: a comprehensive review. *Innovative Infrastructure Solutions*, 10, 545. DOI: 10.1007/s41062-025-02360-9.
6. Leopold, L. B. (1968). *Hydrology for Urban Land Planning: A Guidebook on the Hydrologic Effects of Urban Land Use* (Circular 554). US Geological Survey. DOI: 10.3133/cir554.
7. Paul, M. J., & Meyer, J. L. (2001). Streams in the Urban Landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 32(1), 333–365. DOI: 10.1146/annurev.ecolsys.32.081501.114040.
8. Bhaskar, A. S., Beesley, L., Burns, M. J., Fletcher, T. D., Hamel, P., Oldham, C. E., & Roy, A. H. (2016). Will It Rise or Will It Fall? Managing the Complex Effects of Urbanization on Base Flow. *Freshwater Science*, 35(1), 293–310. DOI: 10.1086/685084.
9. Safdar, S., Jefferson, A. J., Costello, D. M., & Blinn, A. (2024). Urbanization and Suspended Sediment Transport Dynamics: A Comparative Study of Watersheds with Varying Degree of Urbanization Using Concentration-Discharge Hysteresis. *ACS ES&T Water*, 4(9), 3904–3917. DOI: 10.1021/acsestwater.4c00214.
10. Walsh, C. J., Roy, A. H., Feminella, J. W., Cottingham, P. D., Groffman, P. M., & Morgan, R. P. (2005). The Urban Stream Syndrome: Current Knowledge and the Search for a Cure. *Journal of the North American Benthological Society*, 24(3), 706–723. DOI: 10.1899/04-028.1.
11. Nagy, R. C., Lockaby, B. G., Kalin, L., & Anderson, C. (2012). Effects of urbanization on stream hydrology and water quality: the Florida Gulf Coast. *Hydrological Processes*, 26(13), 2019–2030. DOI: 10.1002/hyp.8336.
12. Linders, T., et al. (2018). Particle sources and transport in stratified Nordic coastal seas in the Anthropocene. *Elementa: Science of the Anthropocene*, 6, 29. DOI: 10.1525/elementa.149.
13. Lomakin, P. D., Chepyzhenko, A. A., & Chepyzhenko, A. I. (2025). Colored Dissolved Organic Matter and Total Suspended Matter as the Indicators of Water Pollution in the Kerch Strait. *Physical Oceanography*, (4), 492–507. Retrieved from: https://mhi-ras.editorum.ru/en/nauka/article/106277/view (date of application: 05.03.2026).
14. Kurochkina, V. A., Bogomolova, T. G., & Kirov, B. L. (2016). [Anthropogenic load on rivers of urbanized territories]. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU*, (8), 100–109. (In Russian).

15. Zaripova, K. M., & Tikhonova, E. A. (2025). [Distribution of suspended matter in coastal waters of the Kamchatka Peninsula]. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Bulletin of Kamchatka State Technical University*, (71), 108–119. DOI: 10.17217/2079-0333-2025-71-108-119. (In Russian).
16. Kirichenko, V. E., & Chernyagina, O. A. (2006). [Integral map of anthropogenic impact on natural complexes of Kamchatka]. In: *Far Eastern Regional Conference dedicated to the memory of A. P. Vaskovsky (95th anniversary)*, Magadan, November 28–29, 2006. (In Russian).
17. Marlow, B. N., & Griffen, B. D. (2025). Urbanization indices development and use in the coastal ecological realm: a review. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 13, 1607614. https://doi.org/10.3389/fevo.2025.1607614
18. Howell, E. T., Chomicki, K. M., & Kaltenecker, G. (2012). Patterns in water quality on Canadian shores of Lake Ontario: Correspondence with proximity to land and level of urbanization. *Journal of Great Lakes Research*, 38, 32–46.
19. Fan, X., Li, L., Yuan, Y., et al. (2022). Urbanization and water quality dynamics and their spatial correlation in coastal margins of mainland China. *Ecological Indicators*, 138, 108812. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108812
20. Prikaz Federal'nogo agentstva po rybolovstvu ot 26 maya 2025 g. № 296 "Ob utverzhdenii normativov kachestva vody vodnykh ob"ektov rybokhozyaystvennogo znacheniya...". (2025). [Order of the Federal Agency for Fisheries No. 296 of May 26, 2025 "On approval of water quality standards for water bodies of fishery importance..."]. *ConsultantPlus*. Retrieved from: https://www.consultant.ru (date of application: 16.12.2025). (In Russian).
21. Ministerstvo prirodnykh resursov i ekologii Kamchatskogo kraya. (2025). [Report on the state of the environment in the Kamchatka Territory in 2024]. Petropavlovsk-Kamchatsky. 397 p. (In Russian).
22. Gomes, P. I. A., & Wai, O. W. H. (2020). Investigation of Long-Term River Water Quality Trends in Hong Kong to Identify Role of Urbanization, Seasons and Pollution Sources. *Water, Air, & Soil Pollution*, 231, 378. DOI: 10.1007/s11270-020-04753-1.
23. Gomes, P. I. A., & Karunatilaka, P. D. (2023). Investigation of long-term river water quality variations using different urbanization indices and assessment of common scientific perspectives of urbanization on water quality. *Environmental Quality Management*, 32(3), 239–249. DOI: 10.1002/tqem.21900.

Поступила в редакцию 22.05.2026 г.

Зарипова Ксения Маратовна
младший научный сотрудник,
Лаборатория хемоэкологии отдела радиационной и химической биологии,
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ.
E-mail: zaripova_km@ibss-ras.ru
ORCID: 0009-0001-1160-4139;
SPIN-код: 4535-0790;
AuthorID: 1080936

Zaripova Ksenia Maratovna
Junior Researcher,
Laboratory of Chemoecology, Department of Radiation and Chemical Biology,
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia.

Тихонова Елена Андреевна
кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, Лаборатория хемоэкологии отдела радиационной и химической биологии,
ФГБУН ФИЦ «Институт биологии южных морей имени А.О. Ковалевского РАН», Севастополь, РФ.
E-mail: tikhonova_ea@ibss-ras.ru
ORCID: 0000-0002-9137-087X;
SPIN-код: 3786-7334;
AuthorID: 844103

Tikhonova Elena Andreevna
Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, Laboratory of Chemoecology, Department of Radiation and Chemical Biology,
A.O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russia.