

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ВОД, ДОННЫХ ОСАДКОВ
И ПОЧВ ДОЛИНЫ Р. ВТОРАЯ РЕЧКА (ПО ХИМИЧЕСКИМ
И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ)**

**Е.А. Жарикова¹, С.В. Клышевская¹, А.Д. Попова¹, Т.С. Вшивкова^{1,2},
Т.В. Никулина¹, Н.В. Иваненко³**

¹Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Россия. E-mail: ejarikova@mail.ru

²Дальневосточный федеральный университет, пос. Аякс, 10, о-в Русский, г. Владивосток, 690922, Россия

³Владивостокский университет экономики и сервиса, ул. Гоголя, 41, г. Владивосток, 690014, Россия

Заложены 6 площадок мониторинга от верховья до устья р. Вторая Речка. Определены основные параметры химического состава воды и донных отложений. Выполнена характеристика санитарно-микробиологических свойств речной воды. Рассмотрены основные свойства городских почв. Выявлено увеличение содержания фосфора и тяжелых металлов в донных отложениях и почвах. Уровень экологического риска для бентосных организмов оценивается как средне-низкий.

**ECOLOGICAL STATE OF THE WATERS, BOTTOM SEDIMENTS
AND SOILS OF THE RIVER VALLEY THE VTORAYA RECHKA
RIVER (ACCORDING TO CHEMICAL AND MICROBIOLOGICAL
INDICATORS)**

**E.A. Zharikova¹, S.V. Klyshevskaya¹, A.D. Popova¹, T.S. Vshivkova^{1,2},
T.V. Nikulina¹, N.V. Ivanenko³**

¹Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity FEB RAS, 159 Stoletiya Vladivostoka Avenue,
Vladivostok, 690022, Russia. E-mail: ejarikova@mail.ru

²Far Eastern Federal University, Russky Island, 10 Ajax Bay, Vladivostok, 690922, Russia

³Vladivostok State University of Economics and Service, 41 Gogolya St., Vladivostok, 690014, Russia

There are 6 monitoring sites from the source to the estuary of the river Vtoraya Rechka. The main parameters of the chemical composition of water and bottom sediments of the river are determined. The characteristic of sanitary and microbiological properties of river water is performed. The main properties of urban soils are considered. An increase in the content of phosphorus and heavy metals in bottom sediments and soils was revealed. The level of environmental risk for benthic organisms is estimated as medium-low.

Введение

В условиях нарастающего техногенного давления благоустроенные зоны в городах увеличивают инвестиционную привлекательность жилых и общественно-деловых кварталов, повышают ценность территорий и способствуют созданию позитивного имиджа города. Комфортность среды обитания является важным фактором в поддержании здоровья городских жителей. Владивосток, имея статус столицы Дальнего Востока, является привлекательным объектом для российских

и иностранных туристов. При этом в центре города в неприглядном состоянии находится один из городских водотоков – р. Вторая Речка. В нарушение природоохранного законодательства в реку сливаются жидкие отходы производства, канализационные стоки. В пределах водоохранной зоны расположены гаражные боксы и парковки, прибрежная территория захламлена автопокрышками, строительным и бытовым мусором. Разрушенные старые мосты и переходы через реку затрудняют речной сток, поллютанты попадают в Амурский залив, ухудшая качество воды, негативно воздействуя на прибрежные экосистемы. В жилом микрорайоне наблюдается сокращение и без того дефицитных площадей городских озелененных участков вследствие интенсивной застройки и самовольной вырубки. Отмечено ухудшение жизненного состояния городской растительности (как древесной, так и газонной), в частности и за счет нарушения почвенного покрова – базового компонента любых рекреационных экосистем (Жарикова, Голодная, 2019). Но данные проблемы могут быть решены при вовлечение общественности (особенно молодежи) в активную природоохранную деятельность и при повышении экологического образования населения совместно с активной поддержкой науки и государства.

Результатом широкого распространения и взаимосвязи процессов урбанизации и промышленного производства стало снижение качества атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод и почв во всем мире. Активное жилищное и хозяйственное строительство, развитие транспортной сети, проведение новых и ремонт существующих коммуникаций приводят к деградации городских почв и зеленых насаждений. Промышленные выбросы и автотранспорт являются основной причиной аккумуляции различных веществ (в том числе и токсических) в поверхностном слое почв урболандшафтов. Почва, как полидисперсная система, способна поглощать и удерживать многие загрязнители, предотвращая их проникновение в сопредельные среды, но ее защитная буферная способность неограничена и может быть утрачена в течение относительно небольшого временного промежутка. Являясь полупроницаемой земной оболочкой, почва служит регулирующим механизмом взаимодействия между литосферой, гидросферой, атмосферой и биотой, одним из ведущих гидрологических факторов, участвуя в формировании речного стока и воздействуя на химический состав природных вод и донных отложений (Добровольский, Никитин, 1990; Розанов А., Розанова Б, 1990; Власов и др., 2019).

Группой инициативных граждан был создан проект «Ревитализация Второй Речки» (научно-общественный модельный проект по решению проблем загрязнения городских водотоков на примере р. Вторая Речка), одной из задач которого является оценка качества вод и почв микрорайона по химико-микробиологическим и гидробиологическим показателям. Проект поддержан грантом The Samdhana Institute (НКО Институт Самдхана – Азиатский центр социального и экологического обновления и Альянс «Экодело»). Осенью 2020 были заложены площадки мониторинга и отобраны пробы воды, донных отложений и почв.

Материалы и методы

Площадка 1 (Исток) расположена в верховьях реки в широколиственном лесу в зоне минимального антропогенного воздействия. Почвенный покров представлен буроземами типичными. Площадка 2 (Восточный луч) заложена на территории, подготовленной для начала жилищного строительства. Растительный покров отсутствует, почвенный покров уничтожен, на поверхности сильнокаменистые

элювиально-делювиальные отложения среднесуглинистого состава. Площадка 3 (Снеговая падь) заложена в начале нового жилого микрорайона (ул. Адмирала Горшкова). Растительность сорная, напочвенный покров изрежен, на поверхности строительный и бытовой мусор. Почва – слаборазвитая техногенная. Площадка 4 (Бородинская, 20) заложена в жилом микрорайоне на придомовой территории, напочвенный покров изрежен, на поверхности бытовой мусор. Почва – урбостратозем техногенный. Площадка 5 (Мост) заложена в жилом микрорайоне (проспект 100-летия Владивостока, 76), у федеральной трассы и моста через реку. Растительность сорная, проективное покрытие около 80%. Почва – темногомусовая урбистратифицированная. Площадка 7 (Устье) заложена рядом с устьем реки. Растительность сорная, напочвенный покров изрежен, на поверхности строительный и бытовой мусор. Почва – урбостратозем техногенный. Физико-географическая характеристика бассейна р. Вторая речка дана в работе Т.С. Вшивковой с соавторами (наст. сб.).

Анализ проб воды проводили по 11 гидрохимическим и 4 микробиологическим показателям. Физико-химические анализы почв и донных отложений выполняли по общепринятым методикам (Агрохимические методы, 1976), элементный состав образцов – методом энергодисперсионной рентгенфлуоресцентной спектроскопии (EDX) на анализаторе EDX 800HS-P (Shimadzu, Япония) в аналитическом центре ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

Для оценки экологического состояния почв и донных отложений были рассчитаны несколько комплексных показателей. В качестве фоновых значений при расчетах были использованы данные содержания тяжелых металлов в почвах и донных отложениях площадки 1. Суммарный показатель химического загрязнения (Z_c) характеризует степень химического загрязнения почв (МУ 2.1.7.730–99). $Z_c = \sum K_{ci} - (n - 1)$, где n – число определяемых компонентов, K_{ci} – коэффициент концентрации i -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над фоновым значением. Уровень загрязнения почв считается допустимым при $Z_c < 16$. При расчете Z_c для донных отложений учитываются только элементы с $K_c > 1$, и применяются следующие градации: $Z_c < 10$ – допустимый уровень санитарно-токсикологической опасности, $10 < Z_c < 30$ – умеренно-опасный, $30 < Z_c < 100$ – опасный, $100 < Z_c < 300$ – очень опасный, $Z_c > 300$ – чрезвычайно опасный (Янин, 2018). Показатель потенциального экологического риска (Potential Ecological Risk) учитывает синергизм, уровень токсичности и экологическую чувствительность тяжелых металлов $PERI = \sum PI_i * T_i$, где T_i – коэффициент токсичности тяжелого металла. Значение T_i для Zn, V, Cr, Co, Pb, Ni, Cu равны 1, 2, 2, 5, 5, 5 соответственно (Hakanson L., 1980). Значение $PERI < 90$ означает низкий уровень экологической опасности, 90–180 – средний, 180–360 – высокий, 360–720 – очень высокий, > 720 – чрезвычайно высокий (Varol, 2011; Koivalska et al., 2018). Для оценки суммарного экологического риска загрязнения донных отложений учитывают уровни содержания поллютантов превышение которых может оказать негативное влияние на жизнедеятельность бентоса – probable effects level (PEL). $m\text{-}PEL\text{-}Q = [\sum (C / PEL)] / n$, где C – концентрация поллютанта, PEL – критическое содержание загрязнителя, n – число учитываемых элементов, при этом уровни PEL, разработанные для пресноводных экосистем составляют 111 для Cr, 149 для Cu, 128 для Pb, 48,6 для Ni и 459 мг/кг для Zn (MacDonald et al., 2000). Приняты следующие градации: $m\text{-}PEL\text{-}Q < 0,1$ – низкий уровень; $0,11 < m\text{-}PEL\text{-}Q < 1,5$ – средне-низкий, $1,51 < m\text{-}PEL\text{-}Q < 2,3$ – средне-высокий, $m\text{-}PEL\text{-}Q > 2,3$ – высокий (Ioannides et al., 2015).

Результаты и обсуждение

С возрастанием антропогенной нагрузки в речной воде увеличиваются величины перманганатной окисляемости ($2,0\text{--}4,4$ мг/дм³), жесткости ($0,15\text{--}1,65$) и щелочности ($6,8\text{--}7,8$), растёт содержание в воде железа ($0,1\text{--}0,55$ мг/дм³), аммиака ($0,05\text{--}2,0$ мг/дм³) и нитратов ($2,5\text{--}11,5$ мг/дм³). Показатели цветности и мутности во всех пробах, как и содержание общего железа (в жилых кварталах) превышают установленные нормативы. Повсеместно в речной воде выявлены колифаги, общие и термотолерантные колиформные бактерии, что указывает на наличие фекального загрязнения. Наименьшая общая микробная численность бактерий отмечена в пробе, отобранной в верховьях реки. Патогенные бактерии родов *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* не обнаружены.

Следствием урбаногенного прессинга является увеличение щелочность почв и донных отложений (от слабокислой до слабощелочной) одновременно с увеличением в них содержания валовых форм кальция и магния (сумма CaO и MgO $1,73\text{--}9,09\%$ в почве и $1,03\text{--}3,50\%$ в донных отложениях). Данные изменения в химических свойствах объясняются попаданием в почвы противогололедных реагентов (хлоридов кальция, магния и натрия), освобождением ионов щелочноземельных металлов из обломков щебня, строительного и бытового мусора, которые в качестве включений в значительном количестве содержатся в городских почвах, на берегах и в русле реки (Жарикова, 2012). Содержание органического углерода во всех почвах находится в диапазоне средних значений ($5,39\text{--}8,61\%$), при этом максимум выявлен в ненарушенных буроземах типичных, формирующихся в окрестностях истока реки. В донных отложениях оно варьирует более широко ($1,36\text{--}12,57\%$) и, напротив, возрастает вниз по течению, достигая самых высоких значений в районе самой интенсивной антропогенной нагрузки (площадка 5). В районе жилых кварталов выявлено резкое увеличение содержания фосфора в почвах и донных отложениях, что позволяет отнести их к подтипу химически загрязненных. Почвы по содержанию подвижного фосфора характеризуются как очень много фосфорсодержащие, а донные отложения как много фосфорсодержащие ($21\text{--}27$ мг/100 г почвы) (Прокофьева и др., 2014). По содержанию валового фосфора городские почвы относятся к сильнозафосфаченным (в районе Снеговой Пади – к сверхсильнозафосфаченным), донные отложения на станциях 4–6 относятся к сильнозафосфаченным ($0,26\text{--}0,83\%$).

Увеличение техногенной нагрузки на территорию сопровождается ростом содержания общего железа в почвах (от $4,12$ до $6,14\%$) и донных отложениях (от $3,77$ до $6,55\%$). Содержание валовых форм тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Ni, V, Cr) в почвах и донных отложениях жилых районов кратно превышает фоновое, что подтверждает полученные ранее результаты (Жарикова, 2021). Для Zn, Cu и V кратность превышения в донных отложениях выше, чем в почве (табл. 1).

Абсолютные величины комплексных индексов загрязнения возрастают с возрастанием антропогенной нагрузки (табл. 2). Суммарный показатель химического загрязнения Z_c для почв не превышает 16, что свидетельствует о допустимом уровне загрязнения. Величина Z_c для донных отложений характеризует уровень санитарно-токсикологической опасности как умеренно-опасный для станции 5 и допустимый для всех остальных станций. Показатель потенциального экологического риска PERY, не превышает 90, что означает низкий уровень экологической опасности, при этом на станции 6 величина PERY для почв приближается к среднему уровню

Таблица 1

Коэффициенты аккумуляции тяжелых металлов в почвах и донных отложениях

Станция	Почва	Донные отложения
1	$V_{1,00} Cr_{1,00} Co_{1,00} Ni_{1,00} Cu_{1,00} Zn_{1,00} Pb_{1,00}$	$V_{1,00} Cr_{1,00} Co_{1,00} Ni_{1,00} Cu_{1,00} Zn_{1,00} Pb_{1,00}$
2	–	$\frac{V_{1,45} Cu_{1,45} Zn_{1,41}}{Pb_{0,64} Ni_{0,76} Co_{0,78} Cr_{1,00}}$
3	$\frac{Cr_{1,01} Ni_{1,14} Cu_{1,38} Zn_{1,78} Pb_{6,69}}{Co_{0,72} V_{0,91}}$	$\frac{Cr_{1,28} V_{1,54} Ni_{1,63} Cu_{2,00} Zn_{4,17}}{Co_{0,72} Pb_{1,00}}$
4	$\frac{V_{1,04} Cr_{1,19} Ni_{1,63} Cu_{1,88} Zn_{3,80} Pb_{9,06}}{Co_{0,68}}$	$\frac{Cr_{1,10} V_{1,27} Cu_{2,81} Zn_{2,95} Pb_{1,68}}{Co_{0,72} Ni_{0,77}}$
5	$\frac{Cr_{1,18} Ni_{1,73} Cu_{1,78} Zn_{2,36} Pb_{6,35}}{Co_{0,68} V_{1,00}}$	$\frac{Cr_{1,11} V_{1,34} Ni_{1,45} Pb_{2,34} Zn_{5,16} Cu_{5,51}}{Co_{0,59}}$
6	$\frac{Co_{1,03} Cr_{1,13} Ni_{1,39} Cu_{1,98} Zn_{2,35} Pb_{11,67}}{V_{0,61}}$	$\frac{V_{1,05} Cr_{1,05} Pb_{1,71} Zn_{2,33} Cu_{2,50}}{Co_{0,75} Ni_{0,81}}$

Таблица 2

Комплексные показатели оценки экологической ситуации в почвах и донных отложениях

Станция	Zс		PERI		mPEL-Q
	Почва	Донные отложения	Почва	Донные отложения	Донные отложения
1	1,0	1,0	26	26	0,34
2	–	2,3	–	26	0,33
3	7,6	2,1	57	40	0,54
4	13,0	5,6	78	39	0,44
5	9,0	11,9	63	65	0,69
6	14,0	4,5	89	38	0,43

загрязнения. По суммарному экологическому риску для бентосных организмов, определяемому величиной коэффициента m-PEL-Q, донные отложения Второй Речки дифференцированы слабо и характеризуется средне-низким уровнем экологического риска.

Заключение

Полученные данные свидетельствуют о наличии значительных нарушений компонентов природной среды в долине р. Вторая Речка г. Владивостока. Микробиологические и химические показатели состояния речной воды указывают на наличие фекального загрязнения. Установлено значительное нарушение состояния почвенного покрова и основных свойств почв. Выявлено зафосфачивание территории и увеличение содержания железа и тяжелых металлов в донных отложениях и почвах. Хотя комплексные экологические индексы (в отношении тяжелых металлов) пока характеризуют загрязнение почв как допустимое с низким уровнем экологической опасности, отмечен рост их абсолютных величин в жилых районах. Выявлен средне-низкий уровень экологического риска для бентосных организмов.

Литература

- Агрохимические методы исследования почв. 1975. М.: Наука. 656 с.
- Власов Д.В., Шинкарева Г.Л., Касимов Н.С. 2019. Металлы и металлоиды в донных отложениях водоемов Восточной части Москвы // Вестник МГУ. Сер. 5 География. № 4. С. 43–52.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. 1990. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука. 261 с.
- Жарикова Е.А. 2012. Почвы Владивостока: основные характеристики и свойства // Вестник ДВО РАН. № 3. С. 67–73.
- Жарикова Е.А. 2021. Тяжелые металлы в городских почвах: оценка содержания и экологического риска // Известия Томского политехнического университета Инжиниринг георесурсов. Т. 332. № 1. С. 164–173.
- Жарикова Е.А., Голодная О.М. 2019. К вопросу о почвах городских газонов (на примере городов Приморья) // Вестник ДВР РАН. № 4. С. 129–135.
- МУ 2.1.7.730–99 «Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест» от 05.02.1999.
- Прокофьева Т.В., Герасимова М.И., Безуглова О.С., Бахматова К.А., Гольева А.А., Горбов С.Н., Жарикова Е.А., Матинян Н.Н., Наквасина Е.Н., Сивцева Н.Е. 2014. Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России // Почвоведение. № 10. С. 1115–1164.
- Розанов А.Б., Розанов Б.Г. 1990. Экологические последствия антропогенных изменений почв // Почвоведение и агрохимия. М.: Наука. С. 6–9.
- Янин Е.П. 2018. Техногенные речные илы (условия формирования, вещественный состав, геохимические особенности). М.: НП «АРСО». 415 с.
- Kowalska J.B., Mazurek R., Gasiorek M., Zaleski T. 2018. Pollution indices as useful tools for the comprehensive evaluation of the degree of soil contamination. A review // Environmental Geochemistry and Health. V. 40. P. 2395–2420.
- Hakanson L. 1980. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach // Water Research. V. 14(8). P. 975–1001.
- Varol M. 2011. Assessment of heavy metal contamination in sediments of the Tigris River (Turkey) using pollution indices and multivariate statistical techniques // Journal of Hazardous Materials. V. 195. P. 355–364.
- MacDonald D.D., Ingersoll C.G., Berger T.A. 2000. Development and evaluation of consensus-based sediment quality guidelines for freshwater ecosystems // Archives of Environmental Contamination and Toxicology. V. 39. P. 20–31.
- Ioannides K., Stamoulis K., Papachristodoulou C., Tziamou E., Markantonaki C., Tsodoulos I. 2015. Distribution of heavy metals in sediment cores of Lake Pamvotis (Greece): a pollution and potential risk assessment // Environmental Monitoring and Assessment. V. 187. N4209. 16 p.