

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ВОД, ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОЧВ ПОЙМЫ РУЧЬЯ БЕЗЫМЯННОГО (Г. ВЛАДИВОСТОК)

Е.А. Жарикова, А.Д. Попова, С.В. Клышевская

*Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,  
пр. 100-летия Владивостока, 159, г. Владивосток, 690022, Россия.*

*E-mail: ejarikova@mail.ru*

Определены основные параметры химического состава воды, донных отложений и почв на площадках мониторинга от верховья до устья ручья Безымянный. Выполнена характеристика санитарно-микробиологических свойств речной воды. Выявлено увеличение содержания макроэлементов и тяжелых металлов в донных отложениях и почвах. Определен уровень загрязнения с использованием различных геоэкологических показателей. Следствием влияния полигона ТБО и автотрассы является чрезвычайно высокий уровень экологического риска на пляже Стекланный.

## ASSESSMENT OF THE STATE OF WATER, BOTTOM SEDIMENTS AND SOILS OF THE BEZYMANNY STREAM FLOOD PLAIN (VLADIVOSTOK)

E.A. Zharikova, A.D. Popova, S.V. Klyshevskaya

*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, FEB RAS,  
159 Stoletiya Vladivostoka Avenue, Vladivostok, 690022, Russia. Russia.*

*E-mail: ejarikova@mail.ru*

The main parameters of the chemical composition of water, bottom sediments and soils at monitoring sites have been laid from the headwaters to the mouth of the Bezymanny stream were determined. The characterization of sanitary and microbiological properties of river water is carried out. An increase in the content of macroelements and heavy metals in bottom sediments and soils. The level of pollution was determined using various geoecological indicators. The consequence of the influence of the solid waste landfill and the highway is an extremely high level of environmental risk on the Glass Beach.

### Введение

Восточное побережье полуострова Муравьева-Амурского является рекреационной зоной и местом отдыха горожан и многочисленных туристов, а прибрежная полоса – рыбоохранной зоной и районом промысла морских биоресурсов. Но в уже течение длительного периода качество вод Уссурийского залива оценивается как «умеренно загрязнённые» (III класс) (Доклад..., 2022). Одним из источников загрязнения является комплекс по переработки и утилизации ТБО г. Владивостока (ул. Холмистая).

Ручей Безымянный, впадающий в Уссурийский залив в районе Стекланного пляжа, берет свое начало на восточном склоне г. Варгина, выше по рельефу

действующего полигона ТБО. Эксплуатация полигона началась в 2012 г. с нарушением технических, санитарных и экологических норм безопасности и в текущий период он является источником загрязнения окружающей территории (Соляник и др., 2017). Отсутствие гидроизоляции на значительной части полигона является основной причиной поступления высокоминерализованных фильтрационных вод, насыщенных солями тяжелых металлов, аммиака, фосфатов, сульфатов и др. в ручей Безымянный. При этом существует возможность устойчивого накопления загрязняющих веществ в донных отложениях и почвах окружающей территории (Черняева, 2013; Жарикова и др., 2021).

Еще одним источником загрязнения служит автомобильная трасса, проходящая вдоль побережья Уссурийского залива. Воздействие автотранспорта способно привести к изменению химического состава компонентов окружающей среды в зоне, прилегающей к автомагистрали, поскольку в атмосферные выбросы при сгорании топлива и смазочных материалов попадают плотные частицы с высоким содержанием тяжелых металлов – свинца, кадмия, хрома, меди, ванадия, никеля и др. Износ шин и коррозия металлических частей автомобилей также могут вызвать загрязнение окружающей территории (в том числе донных отложений и почв) цинком, кадмием, кобальтом, хромом, медью, ртутью, марганцем, никелем, свинцом, железом и др. (Жарикова, 2021; Жарикова и др., 2022; Krailertrattanachai et al., 2019).

Задачей данного исследования является оценка качества вод, донных отложений и почв долины ручья Безымянного по химико-микробиологическим показателям.

### Материалы и методы

В мае 2021 г. в пойме ручья были заложены площадки мониторинга и отобраны пробы воды, донных отложений и почв (рис. 1, 2). Площадка 1 (Исток) расположена в верховьях в средней части юго-восточного склона в широколиственном лесу в зоне минимального антропогенного воздействия на высоте около 250 м над ур. моря. Почвенный покров представлен буроземами типичными. Вода в ручье прозрачная, без запаха. Площадка 2 (Полигон ТБО) заложена на границе полигона ТБО в месте выхода ручья по левому борту в нижней трети юго-восточного склона, высота около 90 м над ур. моря в широколиственном лесу, поверхность неровная, с валежником, сильно захламлена бытовым мусором. Вода в ручье мутная, темно-бурого цвета, с шапками пены. Почва – бурозем типичный. Площадка 3 (Стеклянный пляж) заложена между автомобильной трассой и пляжем по правому борту ручья, высота около 1 м над ур. моря. Растительность сорная, напочвенный покров изрежен, на поверхности строительный и бытовой мусор. Почва – слабо-развитая техногенная. Вода в ручье бурого цвета.

Образцы донных отложений (песчано-алевритово-глинистый неуплотненный осадок) отбирали пробоотборником из поверхностного слоя, образцы почв отбирали на расстоянии не более 20 м от русла реки с глубины 1–10 см.

Анализ проб воды проводили по 12 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.

В России химическое загрязнение почв оценивается по суммарному показателю ( $Z_c$ ), определяемому по формуле:  $Z_c = \sum(Kc_i + \dots + Kc_n) - (n - 1)$ , где  $n$  – число



Рис. 1. Схема расположения площадок отбора

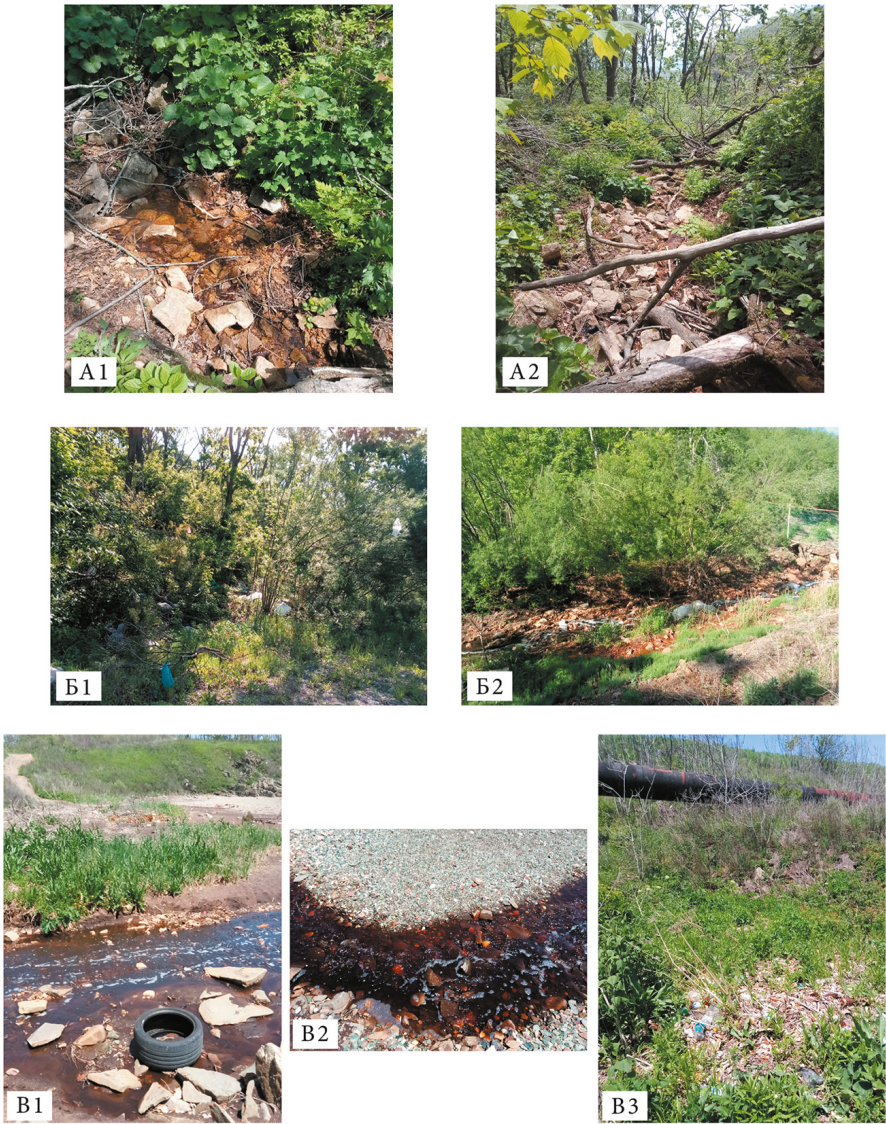


Рис. 2. Вид водотока и окружающей территории в местах отбора. А 1, А 2 – источник, Б 1, Б 2 – полигон ТБО, В 1, В 2, В 3 – Стеклянный пляж

определяемых компонентов,  $K_{ci}$  – коэффициент концентрации  $i$ -го загрязняющего компонента, равный кратности превышения содержания данного компонента над региональным фоновым значением. Хотя величина  $Z_c < 16$  указывает на допустимый уровень загрязнения (СанПиН 2.1.3684–21, 2021), данный показатель не всегда позволяет корректно определить степень загрязнения почв (Богданов, 2012).

В мире используют иные геохимические показатели (табл. 1). Коэффициент концентрации (Single Pollution Index)  $PI = C_i/GB$  применяется для установления загрязнения отдельными тяжелыми металлами (ТМ) и вычисления комплексных показателей загрязнения ( $C_i$  – содержание элемента в поверхностном слое,  $GB$  – фоновое содержание), величина  $PI = K_{ci}$ . Индекс загрязнения Nemerow (NPI) используют для оценки состояния почв, поскольку он учитывает долю не только каждого тяжелого металла, но и опасность от металла с наибольшим коэффициентом концентрации.

$$NPI = \sqrt{0,5(PI_{1\max}^2 + PI_{1\text{ave}}^2)},$$

где  $PI_{1\max}$  – самое высокое значение  $PI$  среди характеризующихся металлов, а  $PI_{1\text{ave}}$  – среднее значение  $PI$ .

Таблица 1

Шкала значений геохимических показателей

Коэффициент концентрации (PI)		Индекс загрязнения Nemerow (NPI)		Потенциальный экологический риск (PERI)	
Уровень	Оценка загрязнения	Уровень	Оценка загрязнения	Значение	Уровень риска
$1 < PI < 2$	слабое	$NPI < 0,7$	отсутствует	$< 90$	незначительный
$2 < PI < 3$	среднее	$0,7 \leq NPI < 1,0$	пограничное состояние	90–180	средний
$3 < PI < 5$	сильное	$1,0 \leq NPI < 2,0$	слабое	180–360	высокий
$PI > 5$	очень сильное	$2,0 \leq NPI < 3,0$	среднее	360–720	очень высокий
–	–	$NPI > 3$	сильное	$> 720$	чрезвычайно высокий

Показатель потенциального экологического риска (Potential Ecological Risk) указывает на уровень опасности для живых организмов:  $PERI = \sum PI_i * T_i$ , где  $T_i$  – коэффициент токсичности  $i$ -того ТМ (Kowalska et al., 2018). В нашем исследовании в качестве фоновых использовали показатели проб площадки 1.

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).

$$m\text{-}PEL\text{-}Q = [\sum (C_i / PEL)] / n,$$

где  $PEL$  – 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:  $mPEL\text{-}Q < 0.1$  – низкий уровень;  $0.11 < mPEL\text{-}Q < 1.5$  – средне-низкий,  $1.51 < mPEL\text{-}Q < 2.3$  – средне-высокий,  $mPEL\text{-}Q > 2.3$  – высокий (Ioannides et al., 2015).

## Результаты и обсуждение

Согласно полученным данным вода в ручье Безымянный по органолептическим показателям (запах, цветность, взвешенные вещества, плавающие примеси) только на площадке 1 имеет допустимые характеристики (табл. 2), на остальных большинство нормативов превышены. Наиболее темная окраска и шапки пены высотой до 0,5 м наблюдаются в месте выхода ручья с территории полигона ТБО. Здесь присутствует неприятный гнилостный запах и отмечено сильное захламление территории бытовым мусором, преимущественно полимерной упаковкой. Величина pH воды выше 7,0 в пробах площадок 2 и 3, безусловно, свидетельствует об антропогенном влиянии (защелачивании). Показатель химического потребления кислорода (ХПК) (для водных объектов рекреационного пользования) указывает на наличие загрязнения на площадке 2. Кроме этого, на площадках 2 и 3 более чем в 10 раз превышено содержание аммонийного азота и более чем в 20 раз – содержание общего железа.

Таблица 2

### Органолептические и физико-химические показатели воды руч. Безымянный

Показатели	Площадки отбора			Величина допустимого уровня
	1	2	3	
Запах	0	> 2	> 2	2
Окраска	< 10	> 20	> 20	20
Взвешенные вещества	< 0,25	15,0	18,5	0,25
Плавающие примеси	отсутствуют	скопление примесей	скопление примесей	отсутствие
Жесткость	0,35	4,14	4,75	7–10
Химическое потребление кислорода ХПК	0,4	32,0	24,5	30
Азот нитратов	< 0,05	19,1	22,5	45
Азот нитритов	< 0,05	1,6	1,4	3,0
Азот аммонийный	< 0,05	24,1	23,2	2,0
Водородный показатель pH	6,6	7,8	8,5	6,5–8,5
Хлориды	2,0	162,0	138,0	350
Железо (суммарно)	0,23	6,0	7,2	0,3

Исследование бактериологического состава воды показало наличие энтерококков, общих и термотолерантных колиформных бактерий, что указывает на наличие антропогенного (в том числе и свежего фекального) загрязнения на площадках 2 и 3. Количество бактерий в воде Стеклянного пляжа на порядок выше, чем на площадке ТБО. Допустимые санитарно-микробиологические показатели установлены только в верховьях ручья.

Анализ химического состава донных отложений площадки 2 показал значительное увеличение в них валовых форм макроэлементов: щелочноземельных металлов (кальция и магния), титана, железа и фосфора ( $Mg_{1,69} < Ti_{2,10} < Fe_{5,84} < Ca_{5,97} < P_{21,73}$ ). В донных отложениях площадки 3 выявлено повышенное содержание кальция и железа ( $Ca_{1,29} < Fe_{6,19}$ ).

Поскольку в России ПДК/ОДК в донных отложениях не установлены, для характеристики загрязнения тяжелыми металлами были использованы ПДК/ОДК

тяжелых металлов в почве (СанПиН 2.1.3684–21, 2021). В донных отложениях площадки 3 установлено превышение ПДК/ОДК содержания никеля, цинка, меди и марганца. Содержание тяжелых металлов в пробах почв и донных отложений площадок 2 и 3 намного превышает фоновое, наибольшие величины коэффициентов концентрации выявлены в пробах площадки 3, где одновременно существуют два источника загрязнения – полигон ТБО и автотрасса (табл. 3). Величина коэффициента концентрации (PI) в почвах позволяет оценить загрязнение почв на площадке 2 кобальтом, медью и никелем как слабое, марганцем – как среднее, на площадке 3 никелем – как слабое, медью – как сильное, свинцом и цинком – как очень сильное.

Таблица 3

Коэффициенты концентрации (PI) тяжелых металлов в почвах и донных отложениях

Площадка	Почва	Донные отложения
1	Фон	Фон
2	Co <sub>1,13</sub> Cu <sub>1,27</sub> Ni <sub>1,50</sub> Mn <sub>2,20</sub>	Ba <sub>1,44</sub> Ni <sub>1,54</sub> Cr <sub>1,76</sub> Sr <sub>1,85</sub> Mn <sub>2,60</sub> V <sub>2,92</sub> La <sub>3,18</sub> Cu <sub>4,16</sub> Pb <sub>9,59</sub>
3	Ni <sub>1,35</sub> Cu <sub>4,15</sub> Pb <sub>9,36</sub> Zn <sub>18,60</sub>	Ba <sub>1,52</sub> Ni <sub>1,63</sub> V <sub>2,2</sub> Mn <sub>2,60</sub> La <sub>5,47</sub> Zn <sub>30,89</sub> Pb <sub>218,14</sub> Cu <sub>213,95</sub>

Загрязнение донных отложений на площадке 2 барием, никелем, хромом, характеризуется – как слабое, марганцем, ванадием – как среднее, медью – как сильное и свинцом – как очень сильное. На площадке 3 –барием, никелем – как слабое, марганцем, ванадием – как среднее, цинком, свинцом и медью – как очень сильное. Состав металлов, аккумулирующихся в почвах и донных отложениях, различается. В донных отложениях он более разнообразен, эти данные хорошо согласуются с полученными ранее для малых рек Центральной России (Власов и др., 2019; Янин, 2002). В донных отложениях следствием техногенного воздействия является присутствие также повышенных и высоких концентраций стронция и лантана.

Величина суммарного показателя химического загрязнения Zс характеризует уровень санитарно-токсикологической опасности как умеренно-опасный для почв на площадке 3 и для донных отложений на площадке 2. На площадке 3 загрязнение донных отложений характеризуется как чрезвычайно опасное (табл. 4).

Таблица 4

Значения комплексных показателей оценки экологической ситуации в почвах и донных отложениях

Площадка	Zс		NPI		PERI		mPEL-Q
	Почва	Донные отложения	Почва	Донные отложения	Почва	Донные отложения	Донные отложения
1	1	1	1	1	23	23	0,32
2	3	19	1,6	7,1	27	83	0,82
3	31	471	13,6	159,9	82	2197	14,47

Согласно комплексному индексу загрязнения Nemerow (NPI) выявлено слабое загрязнение почв на площадке 2 и сильное – на площадке 3. Загрязнение донных отложений на этих площадках характеризуется как сильное.

Показатель потенциального экологического риска PERY, для почв повсеместно и для донных отложений площадки 2 не превышает 90, что означает низкий уровень экологической опасности. На площадке 3 величина PERY для донных отложений указывает на наличие чрезвычайно высокого риска для живых организмов.

По суммарному показателю экологического уровня воздействия на бентосные организмы, определяемому величиной коэффициента  $m\text{-PEL-Q}$ , донные отложения первой и второй площадок дифференцированы слабо и характеризуется средне-низким уровнем воздействия, высокий уровень выявлен на 3 площадке.

### Заключение

Анализ химического состава вод, донных отложений и почв указывает на значительные нарушения компонентов окружающей среды в пойме ручья Безымянный г. Владивостока. Микробиологические и химические показатели состояния воды указывают на наличие органического загрязнения. Щелочноземельные и тяжелые металлы и фосфор из твердых бытовых отходов полигона путем водной миграции поступают и аккумулируются в донных отложениях, степень загрязнения которых варьирует от умеренно-опасного до сильного (по различным геохимическим индексам) при низком уровне опасности для живых организмов. В устьевой зоне, под влиянием двух источников загрязнения (полигон ТБО и автотрасса) степень загрязнения донных отложений возрастает до чрезвычайно опасной при чрезвычайно высоком уровне экологического риска для биоты. Загрязнение почв на данных площадках возрастает от слабого до сильного, уровень экологической опасности при этом оценивается как низкий. Полученные данные свидетельствуют, что использование пляжа Стекланный в качестве места отдыха населения нецелесообразно.

### Литература

- Агрохимические методы исследования почв. 1975. М.: Наука. 656 с.
- Богданов Н.А. 2012. Анализ информативности интегральных показателей химического загрязнения почв при оценке состояния территорий // Гигиена и санитария. № 1. С. 10–13.
- 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.
- Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2021 году. 2022. Владивосток. 334 с.
- 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., Клышевская С.В., Попова А.Д., Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Иваненко Н.В. 2021. Экологическое состояние вод, донных осадков и почв долины р. Вторая Речка (по химическим и микробиологическим показателям) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука. С. 71–76.
- Жарикова Е.А., Голодная О.М., Попова А.Д. 2022. Экологическое состояние почв придорожной полосы автомагистрали Уссурийск – Пограничный на приграничной территории // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. № 4–2. С. 21–27.
- Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий (СанПиН 2.1.3684-21). 2021. Москва. 75 с.
- Соляник И.В., Зиньков А.В., Пантеев Н.В. 2017. Влияние полигона ТБО Владивостока на формирование экологического риска загрязнения близлежащих рек // Вестник Инженерной школы Дальневосточного федерального университета. № 2. С. 110–116.
- Черняева Т.К. 2013. Актуальные проблемы влияния отходов производства и потребления на объекты окружающей среды и состояние здоровья населения (обзор) // Гигиена и санитария. Т. 92. № 3. С. 32–35.
- Янин Е.П. 2002. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы оценки). М.: ИМГРЭ. 52 с.

- 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. Article N 4209. 16 p.
- 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.
- Krailertrattanachai N., Daojarus K. Worachart W. 2019.** The distribution of trace metals in roadside agricultural soils, Thailand // *International Journal of Environmental Research and Public Health*. V. 16. № 5. P. 714. Doi: 10.3390/ijerph16050714.
- 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.