

**ТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГРУНТОВ МАЛЫХ РЕК
ПОЛУОСТРОВА МУРАВЬЁВ-АМУРСКИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
БИОТЕСТИРОВАНИЯ (ВЛАДИВОСТОК, ПРИМОРСКИЙ КРАЙ)**

А.А. Шестёра, ассистент Международной кафедры ЮНЕСКО
«Морская экология»

А.Д. Пелех, старший преподаватель кафедры ЮНЕСКО
«Морская экология»

*Институт Мирового Океана (ИМО), Дальневосточный федеральный университет
(ДВФУ), г. Владивосток, Россия*

Т.С. Вшивкова, Ph.D., с.н.с., доцент, заведующий научной лабораторией
экологического мониторинга МИОСТ

ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН, ВВГУ, г. Владивосток, Россия

**TOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF BOTTOM SEDIMENTS OF THE
MURAVYOV-AMURSKY PENINSULA SMALL RIVERS USING THE
BIOTESTING (VLADIVOSTOK CITY, PRIMORSKY TERRITORY)**

Andrey A. Shestera, assistant of the International UNESCO Chair "Marine
Ecology"

Anna D. Pelekh, senior Lecturer of the UNESCO Chair "Marine Ecology"

*Institute of the World Ocean (IMO), Far Eastern Federal University (FEFU),
Vladivostok, Russia*

Tatyana S. Vshivkova, Ph.D., Senior Researcher, associate Professor, Head
of the Scientific Laboratory of Environmental Monitoring, IIET

*Federal Scientific Center of Biodiversity, Far Eastern Branch of the Russian Academy
of Sciences, Vladivostok, VVSU, Vladivostok, Russia*

Реки полуострова Муравьёв-Амурский (Приморский край), большинство которых расположено на урбанизированных территориях, испытывают негативное влияние, обусловленное, главным образом, антропогенными факторами [1–3]. В водотоки поступают различные загрязняющие вещества, в том числе и токсичные, которые являются одним из основных источников поступления поллютантов в морские акватории [4, 5]. Во многих случаях оказывается воздействие на гидрологический и термический режим рек [6–8].

Для решения проблем загрязнения городских рек необходимо, прежде всего, знать степень загрязнения русловых вод и качество почв прибрежных территорий, которые являются важным источником поверхностного стока и участвуют в формировании дон-

ных грунтов. Адекватное определение качества речных вод – важная задача, которая позволяет решать проблему загрязнений, организовав эффективные мероприятия по регулированию и контролю сбрасываемых вод, по очистке и восстановлению речных экосистем [9].

В последнее время исследованию экологического состояния речных экосистем мегаполиса Владивосток стало уделяться всё больше внимания. Для оценки качества вод и прибрежных почв в основном использовались стандартные химические, микробиологические и биологические методы (методы биоиндикации по показателям альгофлоры и макрообентоса) [2–8, 10–12]. Для химического анализа отбирались пробы русловой воды, то есть текущей воды в приповерхностном слое с глубины 20–30 см; на мелководных участках отбирали пробы с глубины менее 20 см. Результаты химического анализа проб представлены в статье В.В. Шамова с соавторами [13].

В процессе исследований учёные столкнулись с трудностями адекватной оценки качества вод при использовании различных методов. Периодическая несогласованность результатов химических, микробиологических и гидробиологических анализов (причём оценки с использованием водорослей иногда могли значительно отличаться от оценок по показателям водных беспозвоночных) привела к необходимости проведения специальных исследований для преодоления этих противоречий. В связи с этим в 2021 г. был инициирован научный проект «Разработка методов комплексной оценки экологического состояния водотоков Восточной России, находящихся в условиях антропогенного воздействия». Была создана группа учёных, специализирующихся в различных направлениях речной экологии (гидрологи, гидрохимики, микробиологи, альгологи, бентологи) из институтов ДВО РАН и ведомственных учреждений (Дальневосточный филиал ФГБУ РосНИИВХ), а также университетов Приморского края (ДВФУ и ВВГУ) и разработан план исследовательских работ в рамках провозглашённого проекта. В качестве модельной территории был выбран полуостров Муравьёв-Амурский, на котором расположена Владивостокская городская агломерация, и речная сеть которого включает большое количество водотоков с различной степенью антропогенного воздействия. Было решено включить в спектр дополнительных исследований качества речных вод химическую оценку донных отложений, а также токсикологические методы.

К настоящему времени результаты химического анализа русловых проб воды обработаны и представлены в статье В.В. Шамова и др. [13]. Химический анализ донных отложений находится в стадии завершения. По данным токсикологической оценки, проведённой методом биотестирования, уже получены первые результаты [14].

Токсикологический метод подразумевает установление токсичности среды с помощью живых организмов. В отличие от физико-химических методов, биотестирование позволяет по состоянию тест-объектов оценить благоприятность среды для биоты и предсказать возможные изменения в экосистемах.

Цель работы: оценить токсичность донных отложений рек полуострова Муравьёв-Амурский (Владивосток, Приморский край) методом биотестирования с использованием микроводоросли *Scenedesmus quadricauda*.

Задачи:

1. Отобрать пробы донных отложений на 12 станциях (6 рек) одновременно с отбором химических, микробиологических и гидробиологических (перифитон водорослей и макрообентос) проб.
2. Провести процедуру биотестирования и дать оценку токсичности речных донных отложений по отклонению численности клеток *Scenedesmus quadricauda* от контроля.

Материал и методы

Донные отложения отбирались в апреле 2023 г. на 12 станциях, расположенных на реках Объяснения, Первая Речка, Вторая Речка, Черная Речка, Седанка, Богатая. На каждой реке отбирали по две пробы (первая – в верховье, вторая – в низовье). Биотестирование с использованием микроводоросли *Scenedesmus quadricauda* проводилось в соответствии с ФР 1.39.2007.03223 [15]. Согласно данной методике, водные вытяжки из донных отложений признаются токсичными, если они стимулировали или ингибировали рост сценедесмуса более чем на 30 % по сравнению с контролем, и остро токсичными, если такое отклонение составляло более 50 %.

Район исследований и краткая характеристика станций отбора проб

Полуостров Муравьев-Амурский расположен в заливе Петра Великого Японского моря и является самым крупным в Приморском крае. С запада он омывается Амурским заливом, с востока – Уссурийским. На полуострове расположена основная часть мегаполиса Владивосток. Площадь полуострова – 414 км². Рельеф представлен умеренно расчлененным низкогорьем и мелкосопочником. Относительные высоты местами превышают 300 м, абсолютные более 400 м. Высшая точка полуострова – Синяя Сопка, высотой 474 м над уровнем моря, находится в северной части. В южной части полуострова господствующая вершина – гора Варгина, высотой 458 м; остальные вершины не превышают высоты 400 м.

Речная сеть п-ва Муравьев-Амурский (включая о. Русский) хорошо развита, представлена в основном малыми и самыми малыми водотоками, длина которых не превышает 10 км (исключение – р. Песчанка и р. Богатая). Всего на полуострове около 350 рек и крупных ручьев, большинство из которых, особенно в верхней части, представляют собой ненарушенные водотоки с водой первой категории; некоторые из участков расположены на территории ООПТ местного значения. Гидрологический режим водотоков полуострова характеризуется неравномерными расходами воды в течение года с пиками в летнее время. Во время паводков наблюдаются резкие подъёмы и спады уровней воды. На реках Богатая и Пионерская (Седанка) построены водохранилища. Многие речки и ручьи, протекающие в черте города Владивостока, упранты в железобетонные лотки. Часть водотоков, особенно расположенных в пределах Владивостока и Артема, подвергались антропогенным воздействиям на протяжении всего времени освоения территории. Особенно пострадали р. Объяснения, Первая и Вторая Речки, экосистемы которых практически на всем протяжении деградированы в различной степени. Пригородные водотоки нарушены, в основном, в нижних частях русел. Основными источниками загрязнения морских вод вблизи Владивостока являются промышленные и канализационные стоки города и других населённых пунктов, а также загрязнённые воды рек, впадающих в море поблизости [2].

Краткая характеристика станций отбора проб приведена в статье В.В. Шамова и др. [13], основные параметры сведены в табл. 1.

Таблица 1

Характеристика станций отбора проб исследованных водотоков

Название водотока	№ станции	S	RL	RO	EL	W	AD	V	D
Объяснения (U)	1	13.3	14.9	1	116	0.5	0.025	0.33	2.0

Окончание табл. 1

Название водотока	№ станции	S	RL	RO	EL	W	AD	V	D
Объяснения (L)	2			3	6	10.0	0.50	1.06	36.9
Первая Речка (U)	3	22.1	22.2	1	175	0.5	0.044	0.42	11.1
Первая Речка (L)	4			3	4	7.0	0.11	0.59	35.9
Вторая Речка (U)	5	20.5	29.6	1	196	0.5	0.03	0.26	2.4
Вторая Речка (L)	6			3	6	6.7	0.10	0.51	27.6
Седанка (U)	7	37.1	38.4	2	60	2.5	0.09	0.39	5.3
Седанка (L)	8			4	13	5.6	0.035	0.10	12.0
Чёрная Речка (U)	9	11.4	14.1	1	149	0.54	0.025	0.08	1.1
Чёрная Речка (L)	10			3	6	3.2	0.10	0.15	49.1
Богатая (U)	11	69	23.4	2	180	2.0	0.08	0.3	2.5
Богатая (L)	12			4	4	9	0.12	0.5	30.1

Примечание: U – верховье, L – низовье; S – площадь водосбора (км^2), RL – общая длина (км), RO – порядок водотока, EL – высота над уровнем моря (м н.у.м), W – ширина водотока (м), AD – средняя глубина (м), V – скорость течения (м/с), D – расход воды (л/с)

Результаты

Результаты биотестирования донных отложений приведены в таблице 2. Как видно из результатов эксперимента (табл. 2), минимальное значение численности клеток *S. quadricauda* при 72-часовой экспозиции отмечено для ст. 12 (р. Богатая (низовье)) при 168-часовой – для ст. №10 (р. Чёрная Речка (низовье)). Максимальным значением численности клеток *S. quadricauda* при обеих экспозициях выделяется ст. 4 (р. Первая Речка (низовье)).

Для определения токсичности проб необходимо посчитать отклонение численности микроводорослей в пробах от численности в контрольных образцах (индекс токсичности). Значения индекса токсичности для экспозиций 72 и 168 часов приведены в табл. 3.

По результатам серии экспериментов, приведённым в таблице 3 видно, что при 72-часовой экспозиции отклонения численности клеток тест-организма от контроля для станций находятся в диапазоне от -50% до 11%. Больше всего замедляют рост численности *S. quadricauda* вытяжки из донных отложений со станций, расположенных в низовье реки Объяснения и верховье реки Первая Речка.

При экспозиции 168 часов (табл. 3, рис. 1) отклонение численности клеток микроводоросли от контроля варьирует от -62% до 158%, все пробы можно признать токсичными, так как они вызывают отклонение численности тест-организма от контроля более 30%.

Таблица 2

Изменение численности микроводоросли *S. quadricauda* в пробах донных отложений рек п-ова Муравьёв-Амурский

Название водотока	№ станции	Численность клеток при экспозиции, $n \cdot 10^4$ кл. /мл	
		72 ч	168 ч
Объяснения (U)	1	13.00 ± 3.77	19.67 ± 10.97
Объяснения (L)	2	6.83 ± 4.65	13.83 ± 5.01
Первая Речка (U)	3	7.17 ± 2.75	16.67 ± 5.86
Первая Речка (L)	4	15.17 ± 6.83	19.83 ± 7.11
Вторая Речка (U)	5	9.50 ± 3.28	19.00 ± 7.00
Вторая Речка (L)	6	8.50 ± 2.29	11.33 ± 2.52
Седанка (U)	7	5.17 ± 1.44	11.67 ± 0.58
Седанка (L)	8	5.50 ± 2.78	19.33 ± 5.35
Чёрная Речка (U)	9	3.67 ± 1.15	14.17 ± 1.44
Чёрная Речка (L)	10	4.67 ± 1.53	10.33 ± 2.52
Богатая (U)	11	4.83 ± 2.36	12.25 ± 0.90
Богатая (L)	12	3.50 ± 2.18	17.17 ± 2.52

Таблица 3

Значения индекса токсичности для проб донных отложений рек полуострова Муравьёв-Амурский

Название водотока	№ станции	Отклонение численности от контроля при экспозиции, %	
		72 ч	168 ч
Объяснения (U)	1	-4.88 ± 27.62	-34.08 ± 36.77
Объяснения (L)	2	-50.00 ± 33.99	-53.63 ± 16.79
Первая Речка (U)	3	-47.56 ± 20.15	-44.13 ± 19.64
Первая Речка (L)	4	10.98 ± 49.94	-33.52 ± 23.84
Вторая Речка (U)	5	-30.49 ± 22.35	-36.31 ± 23.46
Вторая Речка (L)	6	-37.80 ± 16.77	-62.01 ± 8.44
Седанка (U)	7	-3.12 ± 27.06	55.56 ± 7.70
Седанка (L)	8	3.13 ± 52.20	157.78 ± 71.28
Чёрная Речка (U)	9	-31.25 ± 21.65	88.89 ± 19.25
Чёрная Речка (L)	10	-12.50 ± 28.64	37.78 ± 33.55
Богатая (U)	11	-9.38 ± 44.30	63.33 ± 12.02
Богатая (L)	12	-34.38 ± 40.86	128.89 ± 33.55

Максимальное ингибиование роста численности *S. quadricauda* в хроническом эксперименте (168 часов) оказывают донные отложения, отобранные в низовьях рек Объяснения и Вторая Речка. Такие низкие значения свидетельствуют о хроническом загрязнении этих рек токсичными веществами. В исследовании Н.Н. Бортина и соавторов [4] присутствуют данные о поступлении в р. Объяснения различных сточных вод в больших количествах, а исследования Т.С. Вшивковой и её коллег [5, 10, 16] неоднократно показывали, что нижняя часть Второй Речки, судя по видовому составу бентоса, находится в состоянии экологического кризиса.

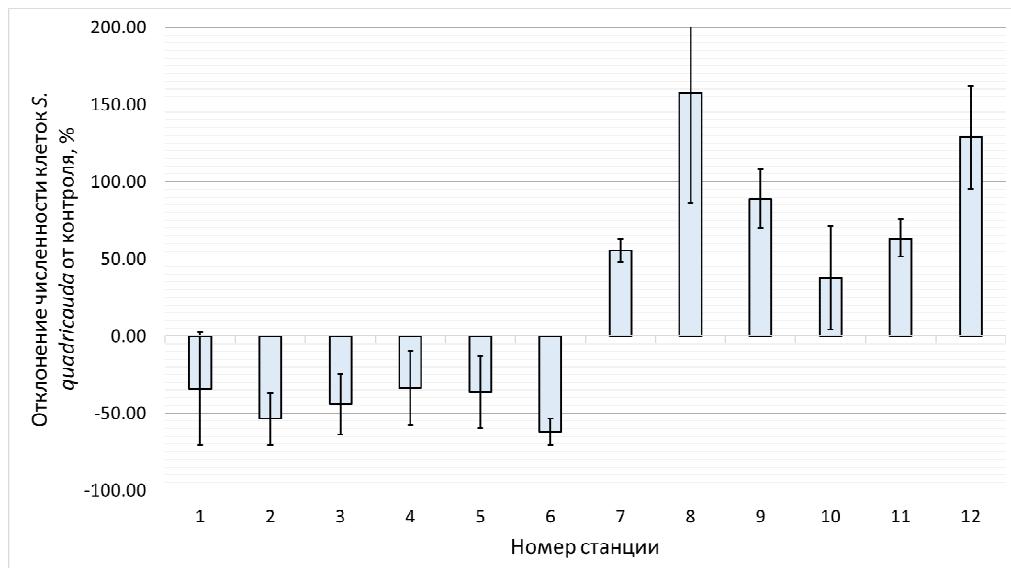


Рис. 1. Отклонение численности *S. quadricauda* в пробах донных отложений рек п-ова Муравьёв-Амурский при 168-часовой экспозиции

При экспозиции 72 часа водные вытяжки из проб донных отложений не оказали стимулирующее влияние на тест-объект, а при 168-часовой экспозиции наибольшую стимуляцию роста сценедесмуса вызвали пробы грунтов, отобранных в низовьях рек Седанка и Богатая, что косвенно свидетельствует о высоких концентрациях органических и биогенных веществ в данных участках водотоков. В публикации Т.С. Вшивковой и соавторов [3] отмечается, что в низовьях этих рек зарегистрировано много экологических нарушений.

Ингибиование роста тест-организма в реках, близких к центру города, и его стимулирование в реках пригородной зоны может быть обусловлено тем, что первые испытывают более техногенное влияние, а вторые выступают приёмниками стоков частного сектора.

Выводы

1. На основании биотестирования водных вытяжек из грунтов модельных рек п-ва Муравьёв-Амурский с использованием микроводоросли *S. quadricauda* можно предположить, что донные отложения рек Седанка, Чёрная Речка и Богатая загрязнены органическими веществами в значительных концентрациях, а рек Первая Речка, Вторая Речка и Объяснения – преимущественно токсичными веществами.

2. Метод биотестирования донных отложений водотоков п-ова Муравьев-Амурский с помощью тест-объекта *Scenedesmus quadricauda* позволяет дать оценку токсичности исследуемых грунтов, а также предположить, поступлением каких веществ и из каких источников обусловлено токсическое воздействие.

3. Необходимо провести сравнение данных биотестирования с результатами оценок состояния речных экосистем другими методами: химическими (анализ приповерхностных вод и донных отложений), микробиологическими, и методами биондикации (по показателям водорослей и макрозообентоса) и выявить корреляционные связи для обоснования общих критериев оценки.

1. Вшивкова Т.С. Проблемы загрязнения городских водотоков // Экологические проблемы природопользования и охрана окружающей среды в Азиатско-Тихоокеанском регионе: среды жизни, их охрана и восстановление. Владивосток: Дальнаука, Изд-во ВГУЭС. 2016. С. 128–136.

2. Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Клышевская С.В. [и др.]. 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.

3. Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Христофорова Н.К. [и др.]. Проблемы экологического состояния урбанизированных водотоков на территории владивостокской городской агломерации // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2023. № 10. С. 56–66.

4. Бортин Н.Н., Крапивенцев Н.В., Горчаков А.М. [и др.]. Река Объяснения как источник загрязнения бухты Золотой Рог // Чистая вода России: Сборник материалов XIV Международного научно-практического симпозиума и выставки. 2017. С. 205–211.

5. Вшивкова Т.С., Никулина Т.В., Дроздов К.А. [и др.]. Оценка экологического состояния р. Вторая Речка по показателям макрозообентоса // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2021. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука. С. 60–70.

6. Бортин Н.Н., Горчаков А.М. Трансформация гидрологического и термического режимов реки 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.

7. Дроздов Г.К., Тищенко Г.С., Затулякин А.В., Вшивкова Т.С. Оценка экологического состояния водотоков урбанизированных территорий с помощью организмов макрозообентоса (Приморский край) // VIII Дружининские чтения: Материалы Всероссийской научной конференции с международным участием, посвящённой 300-летию Российской академии наук, 55-летию Института водных и экологических проблем ДВО РАН, 60-летию заповедников в Приамурье, 4–6 октября 2023, г. Хабаровск. С. 130–132.

8. Пекарский М.В., Мурашова К.А., Дроздов К.А., Вшивкова Т.С. [и др.]. Экологическое состояние р. Черная Речка (окрестности Владивостока) и выявление экологических нарушений согласно Водному кодексу // Природа без границ: Сборник итоговых материалов X Международного экологического форума: Ч. 2. 2016. С. 219–226.

9. Вшивкова Т.С. Проблемы сохранения биоразнообразия на урбанизированных территориях: международный опыт и региональный аспект восстановления городских водотоков. Глава 7 // Экологические исследования на Дальнем Востоке России: история и современность. Владивосток. ВВГУ: Изд-во ВВГУ, 2023. С. 65–72.

10. Вшивкова Т.С., Круглик И.А., Голотин В.А., Щеголова Е. Оценка экологического состояния по показателям макрозообентоса реки Вторая Речка (бассейн Амурского залива) // Исследования мирового океана: материалы Международной научной конференции. 2008. С. 95–97.

11. Жарикова Е.А., Клышевская С.В., Попова А.Д. [и др.]. 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.
12. Никулина Т.В., Вшивкова Т.С., Чебан Д.С., Невельская В.П. Оценка состояния вод р. Вторая Речка по данным анализа перифитонных диатомовых сообществ (Владивосток, Приморский край) // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. 2021. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука. С. 118–129.
13. Шамов В.В., Юрченко С.Г., Болдескул А.Г. [и др.]. Гидролого-гидрохимическая характеристика малых рек города Владивостока, Тихоокеанский регион России // Тихоокеанская география. 2025.
14. Шестёра А.А. Оценка токсичности грунтов рек п-ва Муравьёв-Амурский с использованием *Scenedesmus quadricauda* // Материалы Региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам. 2024. С. 559–561.
15. ФР 1.39.2007.03223 Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. 2007. 47 с.
16. Вшивкова Т.С. Водные беспозвоночные городской реки Вторая Речка (Владивосток, Приморский край) // Проблемы водной энтомологии России и сопредельных территорий: Материалы VIII Всероссийского с международным участием научного симпозиума по амфибиотическим и водным насекомым. 2021. С. 216–235.

УДК 502.131.1

ПРИРОДООХРАННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИМОРСКОГО КРАЯ КАК ФАКТОР УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ РЕГИОНА

А.А. Шуппа, магистрант МЭП-22

И.Ю. Гриванов, доцент кафедры ЭБГ

МИОСТ ВВГУ, Владивосток, Россия

ENVIRONMENTAL PROTECTION ACTIVITIES OF ENTERPRISES IN PRIMORSKY TERRITORY AS A FACTOR IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF THE REGION

Alina A. Shuppa, Master of Department of Ecology

Igor Yu. Grivanov, Associate Professor of the Department of EBG

IIET VVSU, Vladivostok, Russia